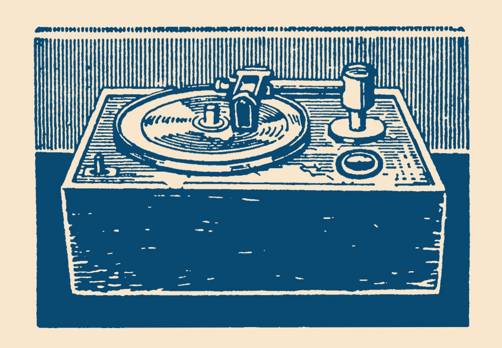


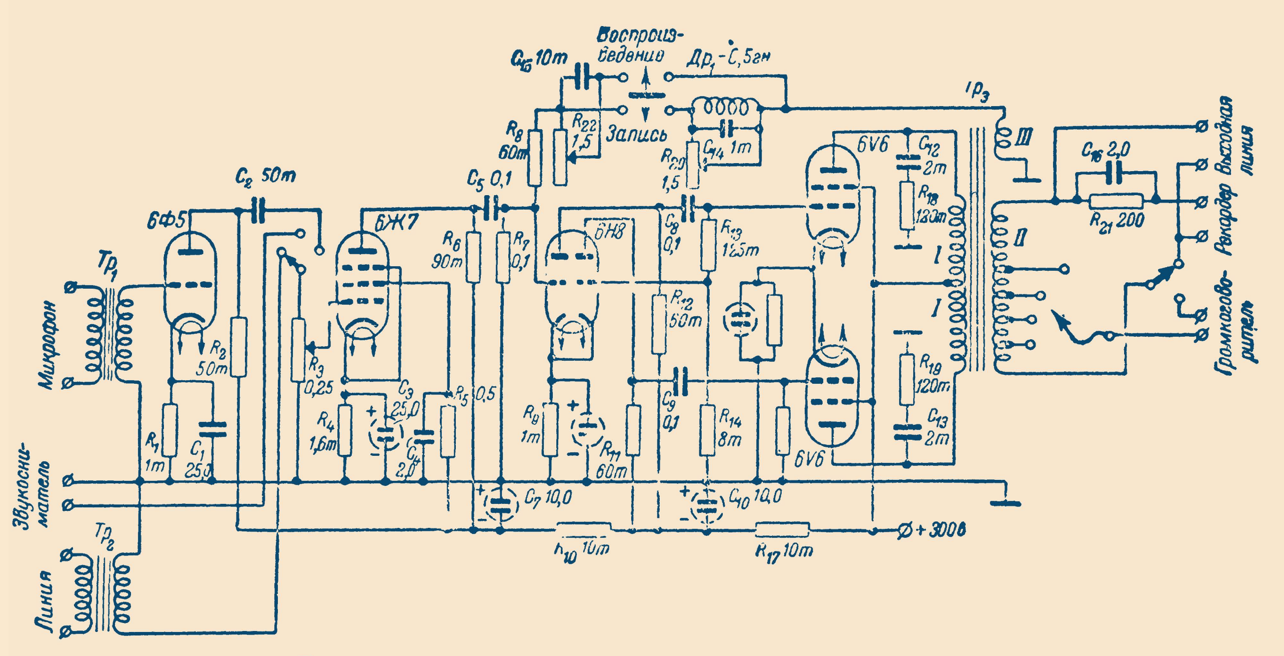
В. Г. КОРОЛЬКОВ

МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАПИСИ ЗВУКА





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



Принципиальная схема усилителя записи и воспроизведения.

Микрофонный трансформатор Tp_1 1:8 с сердечником Ш12 × 15. Входной линейный трансформатор Tp_2 4:1 с сердечником Ш10×20. Выходной трансформатор Tp_3 с сердечником Ш25×35; обмотка *I* 2 000×2 витков проводом ПЭ 0,2 *мм*, обмотка *II* (секционированная) 0 + 77 + 23 + 23 + 49 витков проводом ПЭ 1,0 *мм* и + 453 витка проводом 0,5 *мм*, обмотка III 78 витков проводом 0,1 *мм*.

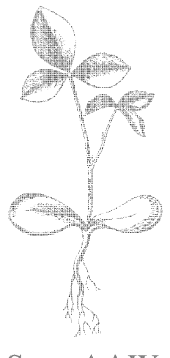
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 118

В. Г. КОРОЛЬКОВ

МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАПИСИ ЗВУКА





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

В книге разбираются различные способы нанесения звуковой бороздки: резанием и давлением, глубинным и поперечным способом, запись на диск и запись на ленту.

Рассматриваются типы звуконосителей и даются рекомендации по выбору их для любительской записи. Приводится описание разных схем ходовых и смещающих механизмов.

Разбирается устройство рекордера, звукоснимателя и дается описание различных типов игл и резцов.

Книга предназначена для квалифицированных радиолюбителей.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *М. С. Жук.* Техн. редактор *А. М. Фридкин*

Сдано в набор 30/V 1951 г. Подписано к печати 15/VIII 1951 г.
Бумага $82\times108^{1}/_{32}=1^{1}/_{4}$ бум. л. — 4,1 п. л. 4,9 уч.-изд. л.
Т-05564. Тираж 25 000 экз. Заказ 1207

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Механическая система — одна из основных существующих в настоящее время систем записи звука. Зародившись более 70 лет назад, она прошла большой путь развития, достигнув в наши дни высокого совершенства. Не меньшие успехи имеют и две другие современные системы звукозаписи — фотографическая и магнитная; тем не менее они не исключают, а дополняют по своим возможностям механическую систему. Каждая из названных систем имеет свои преимущества и недостатки; поэтому выбор той или иной системы определяется специфическими требованиями и условиями работы в каждом конкретном случае.

Радиолюбители знакомы с механической системой звукозаписи по граммофонным пластинкам промышленного производства, а также любительским пластинкам с записью, сделанной в домашних условиях.

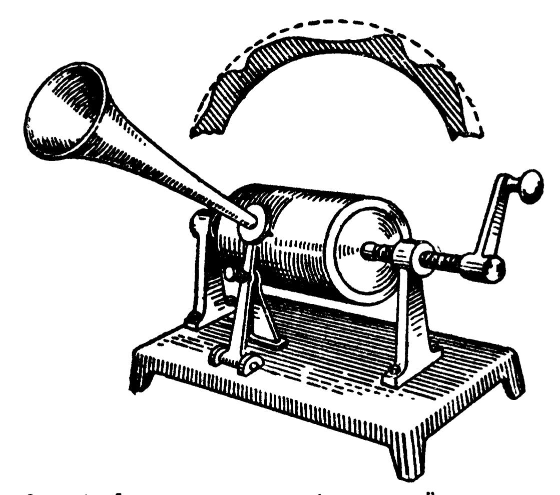
Граммофонные пластинки стали непревзойденной формой массовой звукозаписи, рассчитанной на весьма широкий круг потребителей. Этому способствовала исключительная простота обращения с ними, а также то, что технология их производства позволяет выпускать в короткие сроки громадное количество экземпляров пластинок. Современный пресс-полуавтомат изготовляет каждую пластинку менее чем за 1 минуту. Металлические матрицы, при помощи которых изготавливаются граммпластинки, могут сохраняться в течение весьма большого промежутка времени, представляя собой наиболее надежную форму длительной консервации звука.

Любительская звукозапись на пластинки в домашних условиях позволяет создать собственную фонотеку с записями голосов родных и близких людей, с записями радиопередач (произведенных с помощью радиоприемника) любимых музыкальных и литературных произведений и т. д.

Запись на пластинке может быть отослана по почте в виде «говорящего письма». Тот, кому оно адресовано, смо-

жет прослушать его, воспроизведя как обычную граммофонную пластинку.

Перечисленные основные преимущества механической системы, существенные как в профессиональных, так и в любительских условиях, определяют то, что интерес к ней не ослабевает, несмотря на значительные успехи, достигнутые за последние годы в фотографической и особенно в магнитной звукозаписи.



Фиг. 1. Фонограф и рельеф звуковой канавки, получаемой на его валике.

Остановимся кратко на основных этапах развития механической системы записи звука.

При всех системах принцип звукозаписи остается одним и тем же: на движущийся звуконоситель, сделанный из специального материала, во время записи наносится так называемый звуковой след. Наиболее просто звуковой след получается в механической системе звукозаписи.

В первом аппарате, построенном по этой системе, — фонографе (фиг. 1) — звуконоситель, сделанный из восковой массы, имел форму цилиндра (валика). При вращении рукоятки аппарата восковой валик благодаря наличию на оси резьбы совершал не только вращательное, но и поступательное движение.

Записываемые звуки воспринимались рупором и приводили в колебательное движение упругую круглую пластинку (мембрану), укрепленную в его горловине. Резец был жестко связан с мембраной; своим заточенным концом он со-

прикасался с поверхностью воскового валика и вырезал на ней спиральную канавку. Под действием записываемых звуковых колебаний резец погружался в воск то больше, то меньше, вырезая канавку переменной глубины. Эта канавка и есть в данном случае тот звуковой след, о котором говорилось выше.

Следует сказать, что и до фонографа были известны приборы для записи формы (рисунка) звуковых колебаний. Но в фонографе впервые была практически решена задача обратимости звукового следа, т. е. осуществлена возможность получения с помощью звукового следа новых звуковых колебаний, аналогичных записанным. Воспроизведение записи, сделанной на фонографе, осуществлялось на том же аппарате. Для этого резец заменялся иглой. Снова приводя во вращение восковой валик, заставляли иглу пройти весь тот путь по канавке, который был проделан при записи резцом. Изменение глубины канавки заставляло иглу перемещаться в направлении радиуса валика. Такие же перемещения делала и мембрана. Это вызывало появление в рупоре звуковых волн, повторяющих с некоторым приближением первичные звуковые волны, существовавшие при записи.

Фонограф был рассчитан на применение в домашних условиях для любительской записи. Поэтому справедливо будет сказать, что любительская звукозапись насчитывает в своей истории больше лет, чем профессиональная.

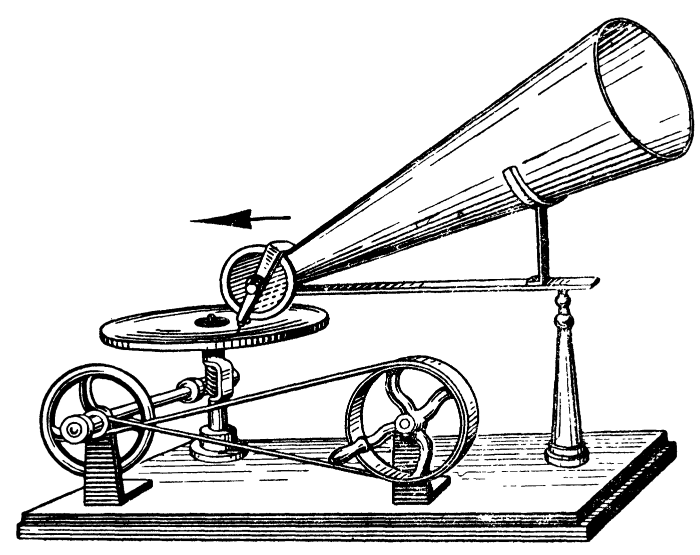
Каждый владелец фонографа, приобретая чистые валики, делал на них записи и сам же был их потребителем. Интересно отметить, что предусматривалась возможность стирания с валика ненужных записей и использования валика повторно. Для этого на станке крепился резец, который мог снимать поверхностный слой воскового валика, подготавливая его, таким образом, к новой записи.

Со временем в продажу стали поступать кроме чистых валиков валики «напетые» или «наговоренные» известными артистами. Это было зарождение массового распространения записей, столь широко развитого в настоящее время.

Возможность слушать дома и в любое время любимых артистов была для того времени необыкновенно заманчивой. Спрос на валики с записью рос. И тут-то сказался большой недостаток фонографа — невозможность получать копии записи, что заставляло прибегать к многократному повторению исполнителем своего выступления перед фонографом. Но и при этом количество экземпляров каждой записи было недостаточным. Это решило дальнейшую судьбу фонографа. Он не смог стать аппаратом массового пользования.

Сохранясь еще и до наших дней, фонограф используется главным образом как диктовальный аппарат служебного пользования для записей различных распоряжений, текстов деловых бумаг и т. п.

На смену фонографу пришел граммофон. Являясь также аппаратом механической системы звукозаписи, он в то же время существенно отличался от фонографа. Первое его отличие — это форма звуконосителя. В граммофоне запись производится на вращающийся диск (фиг. 2). Благодаря



Фиг. 2. Внешний вид первого граммофона.

равномерному смещению при записи рупора с мембраной и резцом звуковой след на поверхности звуконосителя имеет форму спирали.

Второе отличие состоит в том, что благодаря соответствующему соединению мембраны граммофона с резцом последний при записи перемещается не в глубь звуконосителя, как в фонографе, а в поперечном направлении.

Третье и основное отличие то, что запись, сделанная на диске, может быть не только непосредственно воспроизведена, но и использована для изготовления матрицы — инструмента, с помощью которого можно в большом количестве производить пластинки, — точные копии первоначальной записи. С этой целью в первых граммофонных установках запись велась на цинковом диске, покрытом тонким слоем пчелиного воска. Резец соскабливал воск, обнажая цинко-

вую подложку. Последующее травление кислотой создавало в цинке канавку по контуру звукового следа; после этого диск промывался водой, а оставший воск удалялся. Получался цинковый оригинал записи. С него гальванопластическим методом, разработанным русским академиком Б. С. Якоби, получали металлические вторые копии, имевшие обратный рельеф поверхности по сравнению с оригиналом. Со вторых копий таким же способом получали большое количество третьих, бывших уже достаточно точными копиями оригинала; они использовались для воспроизведения как металлические граммпластинки, но были сравнительно низкого качества и сильно шумели из-за зернистости металла в канавках. Впоследствии им на смену пришли пластинки из различных пластмасс, которые прессовались в горячем виде, при помощи матриц.

С момента зарождения граммофона зародилась промышленная звукозапись. Были созданы фабрики, на которых производилась запись, а также тиражирование граммпластинок в большом количестве экземпляров. У потребителей же появились аппараты, рассчитанные только на воспроизведение этих записей. Это граммофоны, существующие и в настоящее время. Иногда портативные образцы их неправильно называют патефонами по имени фирмы Pate, выпустившей еще в начале столетия серию аппаратов, названных таким образом. Эти аппараты существенно отличались от современных, поэтому к последним правильнее применять название портативный граммофон. Само слово граммофон — греческое, означающее «запись звука».

Резкое улучшение качества записи на граммпластинках дало применение радиотехнических способов преобразования и усиления звуковых колебаний. Изобретение радио нашим гениальным соотечественником А. С. Поповым непосредственно сказалось, таким образом, на производстве граммпластинок. При воспроизведении их часто стали использовать усилительную часть радиоприемников, что в свою очередь повысило качество звучания и удобство эксплоатации.

В наши дни граммпластинки обеспечивают полноценное звучание с передачей всех оттенков звука при любых записях, начиная от записи артиста-чтеца и кончая записью большого симфонического оркестра.

В нашей стране ежегодно выпускаются десятки миллионов граммпластинок. Портативный граммофон наравне с радиоприемником получил самое широкое распространение. На пластинки записаны выступления В. И. Ленина и

И. В. Сталина. В записях сохранены голоса выдающихся политических деятелей, ученых, артистов, поэтов нашей страны. Граммпластинки используются для самообразования, для организации культурного отдыха и во многих других случаях.

В столице нашей страны — Москве построен специальный Дом звукозаписи, где в особых помещениях — студиях и аппаратных производятся записи, которые затем расходятся по всей стране в сотнях тысяч экземпляров.

Наши ученые, артисты и производственники неустанно трудятся над улучшением качества граммофонных пластинок и над расширением репертуара производимых записей. Непрерывно растущий уровень материального благосостояния трудящихся и их возрастающие культурные запросы ставят большие задачи в этом направлении.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗВУКОЗАПИСИ

Весь комплекс звукозаписывающей и звуковоспроизводящей аппаратуры должен обеспечить возможно более естественное звучание записи при воспроизведении. Это основное требование, предъявляемое к аппаратуре звукозаписи. И действительно, мы говорим про хорошую запись: «Голос, как живой», тем самым подчеркивая точность воспроизведения аппаратом записанного звукового события.

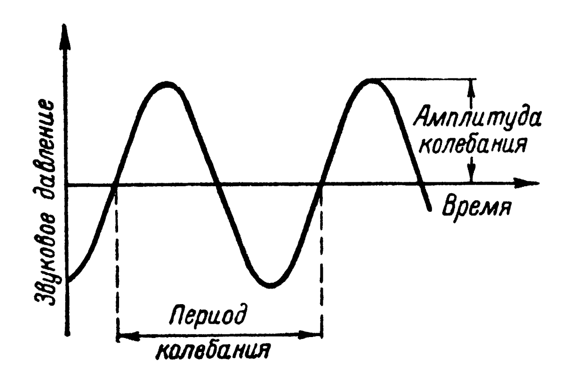
Для отчетливого понимания условий получения такой неискаженной или во всяком случае малоискаженной записи следует вспомнить о физической природе любого звука (будь то человеческий голос, музыка или какие-либо шумы).

Звук — это прежде всего движение, колебательное движение частиц той среды, через которую он передается. В пустоте, где отсутствует такая среда, звук передаваться не может. Это наглядно подтверждает известный физический опыт: если электрический звонок поместить под стеклянный колпак, из-под которого выкачать воздух, то его звон перестает быть слышимым.

Чтобы возбудить звуковую волну в воздухе (т. е. создать звук), надо при помощи какого-либо колеблющегося тела заставить колебаться его частицы. Таким телом может служить, например, подвешенный металлический лист, по которому ударили молотком, или натянутая струна. Колебательные движения этих тел передаются соприкасающимся с ними частицам воздуха, от тех к соседним, вызывая уплотнения и разрежения в воздушной среде, распространяющиеся во все стороны от источника звука. Давление воздуха

в звуковой волне различно — в точке сгущения воздушных частиц оно больше нормального (атмосферного), в точке разрежения меньше. Величина отклонения давления от атмосферного носит название звукового давления.

Дойдя до слушателя, звуковая волна создает переменное давление на барабанную перепонку уха, приводя ее в колебательное движение. Последнее передается к внутренним органам уха и вызывает раздражение слуховых нервов, что создает у нас ощущение звука. Такова вкратце природа возбуждения, передачи и ощущения звука. Отметим,



Фиг. 3. Изменение звукового давления в какой-либо точке синусоидальной звуковой волны.

что звук может передаваться не только по воздуху, но и через твердые и жидкие тела.

Мы знаем, что мир звуков, окружающих нас, красочен и многообразен. Звуки бывают сильные и слабые, высокие и низкие. Звук человеческого голоса непохож на пение птицы, так же как звук скрипки непохож на шум водопада. И вместе с тем, несмотря на такое различие, есть много общего в их физической природе. Одну такую общую черту мы уже указали: любой звук есть распространяющийся процесс колебаний частиц той среды, через которую он передается.

Логично предположить, что различным звукам соответствуют различные формы этих колебаний. Простейшую форму колебаний — синусоидальную — имеет звуковая волна, возбужденная обычным камертоном. Изменение звукового давления в какой-либо точке звуковой волны камертона графически изображается синусоидой (фиг. 3).

Из фигуры видна периодичность изменения звукового давления от нуля до амплитудного значения, обратно до

нуля, снова до амплитудного значения, но обратного направления (что соответствует давлению меньше атмосферного) и опять до нуля. Далее процесс повторяется. Полный цикл этих последовательных изменений занимает время, называемое периодом колебания. Число периодов в секунду называется частотой колебаний. Период измеряется в секундах, частота в особых единицах — герцах.

В зависимости от своих размеров камертон возбуждает звуковые колебания, имеющие бо́льшую или меньшую частоту. Чем выше частота (или, что то же, чем меньше период колебаний), тем звук кажется нам более высоким. Нормально человеческое ухо воспринимает весьма широкий диапазон частот звуковых колебаний от 16 до 20 000 *гц*. Этот диапазон различен у разных людей, кроме того, он меняется с возрастом; однако у большинства людей он не сокращается за пределы 30—12 000 *гц*.

В природе редко встречаются источники простых звуков, подобные камертону. Поэтому форма звуковых колебаний обычно сильно отличается от синусоидальной. Даже такой простой источник звука, как струна, создает колебания, отличные по форме от синусоидальных. Объясняется это в данном случае тем, что струна участвует одновременно в нескольких колебательных движениях, происходящих с различными частотами. Суммарное колебание имеет в результате несинусоидальную форму. Еще более неправильную форму звуковых колебаний можно обнаружить, исследуя при помощи специальных приборов звуки человеческого голоса и различные шумы.

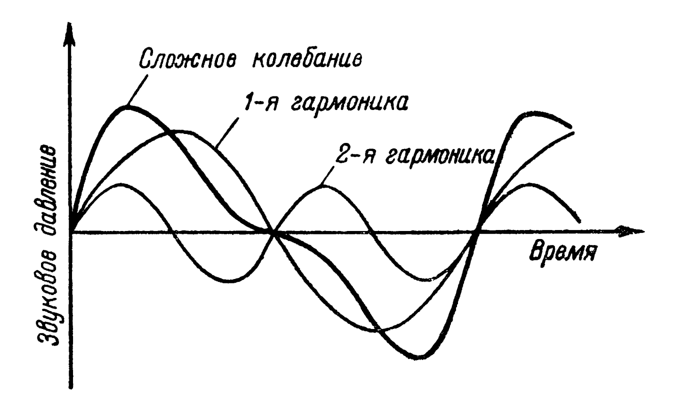
Известно, однако, что любую сложную кривую можно представить как сумму синусоид. Точно так же любой сложный звук может рассматриваться как сумма простых звуков разной частоты и силы. При этом, если сложный звук периодичен, т. е. носит характер повторяющегося процесса, то разложение на простейшие составляющие дает основное колебание (первую гармонику), имеющее тот же период, что и сложный звук, и так называемые обертоны (высшие гармоники), имеющие частоты в два, три и т. д. число раз большие, чем у основного колебания.

Пример такого разложения сложного звукового колебания на составляющие показан на фиг. 4. Ухо воспринимает как основное колебание, так и все обертоны, если, конечно, они не выходят за предел слышимых частот. Если основное колебание определяет собой высоту звука, то количество и сила обертонов создают окраску звука, называемую тембром. Тембр отличает музыкальные инструменты друг от

друга. Если исключить при помощи каких-либо фильтров обертоны, то будет невозможно, например, отличить звучание скрипки от флейты.

Различные шумы могут быть также представлены в виде суммы весьма большого числа простых синусоидальных звуков.

Метод разложения сложных звуков на простейшие составляющие значительно упрощает рассмотрение происходящих при звукозаписи физических процессов, так как позволяет записываемые сложные звуковые картины рассмат-



Фиг. 4. Разложение сложного звукового колебания на составляющие.

ривать как сумму простейших звуков, частоты которых лежат в слышимом диапазоне.

Если частота колебаний характеризует собой высоту звука, то амплитуда — его силу. Чем больше амплитуда колебаний, тем звук сильнее. Человеческое ухо способно воспринимать как очень слабые, так и очень сильные звуки, причем восприимчивость зависит от частоты. Лучше всего слышны звуки с частотой примерно 1 000 *гц*. При этом порог слышимости соответствует эффективному звуковому давлению всего лишь 0,000204 бара (1 *бар* = 1 *дин/см*^{2}). Если повышать силу звука, наступит момент болевого ощущения. На указанной частоте он наступит при силе звука почти в 10^{12} раз большей, чем у порога слышимости. Этот колоссальный диапазон изменения силы звука, воспринимаемый человеческим ухом, объясняется особым устройством нашего слухового аппарата, автоматически понижающего свою чувствительнсть при более сильных звуках. Та-

кая «авторегулировка» вообще свойственна всем нашим органам ощущения. Количественно она подчинена закону

$$A = C \lg \frac{T}{T_0},$$

говорящему, что субъективное ощущение раздражения пропорционально не самому раздражению T, а логарифму его отношения к минимальному заметному для органа чувств раздражению T_0. В применении к звуковым явлениям, где субъективным ощущением силы звука является громкость, этот закон должен читаться так: громкость звука пропорциональна логарифму отношения данной силы звука к силе звука, соответствующей порогу слышимости,

$$L = C \lg \frac{I}{I_0}.$$

Таким образом, громкость, вычисленная по вышеприведенной формуле, измеряется в особых логарифмических единицах, зависящих от выбора коэффициента пропорциональности C. При $C = 1$ мы получим громкость в единицах, называемых белами, при $C = 10$ в децибелах (в единицах, в 10 раз меньших бела).

Выражение громкости в логарифмических единицах удобно тем, что позволяет нам количественно оценить субъективно ощущаемое изменение громкости в ту или другую сторону. Так, например, если при неизменной частоте сила звука изменилась с 0,1 до 0,2 *мквт/см²*, это вовсе не говорит о том, что звук стал в два раза громче, зато если известно, что громкость возросла с 30 до 90 *дб*, то это значит, что громкость утроилась. Возрастание громкости на 1 *дб* близко к той минимальной величине изменения ее, которая еще замечается ухом.

Система логарифмических единиц в оценке отношения двух величин нашла применение и в электрических цепях, связанных так или иначе с звукопередачей. Поэтому в усилителях низкой частоты звукозаписывающих и других подобных установках коэффициент усиления системы, неравномерность частотной характеристики и некоторые другие параметры также принято выражать в децибелах.

Применяя систему децибел к оценке диапазона изменения силы звуков, воспринимаемых человеческим ухом, мы получим, что разница между уровнем болевого ощущения и порогом слышимости составляет на средних частотах величину, близкую к 120 *дб*.

Таким образом, записывая различные звуковые события, мы записываем большое число простых синусоидальных колебаний, частоты которых лежат внутри слышимого диапазона, а амплитуды укладываются в указанный диапазон громкостей.

Вернемся к вопросу о неискаженной звукопередаче вообще и звукозаписи в частности. Условия, обеспечивающие при этом почти натуральное звучание, сводятся к выполнению следующих главных требований:

1. Равномерная передача колебаний всех частот слышимого диапазона. Для этого частотная характеристика должна иметь в полосе от 16 до 20 000 *гц* неравномерность не более $\pm 2{,}5$ *дб*. Осуществить такую систему довольно трудно. Поэтому на практике сокращают полосу пропускания. Хорошее звучание достигается уже при полосе от 50 до 10 000 *гц*, удовлетворительное при полосе от 100 до 5 000 *гц*.

2. Пропорциональная передача как тихих, так и громких звуков. Каждое натуральное звучание может быть охарактеризовано так называемым динамическим диапазоном громкостей, показывающим разность уровней наиболее громких и тихих мест в данном звучании. Динамический диапазон выражается обычно в децибелах. Так, например, динамический диапазон громкостей симфонического оркестра достигает 70 *дб*. Передать такой огромный диапазон практически очень трудно. Верхний предел ограничивается максимальной неискаженной выходной мощностью устройства, нижний—собственными шумами системы, а также различного рода помехами. Поэтому прибегают к автоматическому или ручному сжатию этого диапазона до 35—45 *дб*.

3. Процесс звукопередачи или звукозаписи не должен добавлять в спектр передаваемых частот каких-либо новых частот, не содержащихся в оригинале. Однако практически и это требование не выполняется из-за нелинейности характеристики отдельных узлов: электронных ламп, микрофонов, катушек с сердечниками и т. д. Благодаря такой нелинейности возникают колебания с частотами, кратными передаваемым (гармоники), а также с комбинационными частотами, соответствующими суммам и разностям основных частот и их гармоник, содержащихся в натуральном спектре.

Степень искажения звучания при этом оценивают по отношению эффективной суммы всех гармоник к эффективному значению основного колебания. Эта величина получила наз-

вание коэффициента гармоник. Для обеспечения отличного качества он во всей системе на средних частотах, включая и микрофон и громкоговоритель, не должен превышать 2%. Минимально же достигаемая сейчас величина равна около 5%.

4. Громкость слушания должна соответствовать натуральной громкости. Например, слушать запись оркестра мы должны с той же громкостью, которая существовала в помещении, где играл оркестр. Не приходится говорить, что и это требование практически невыполнимо. Для этого потребовалась бы значительная мощность установки. Кроме того, условия в большинстве случаев (например, в жилом помещении) не допускают подобной громкости.

Что же произойдет, если громкость слушания не будет соответствовать натуральной громкости, существовавшей при записи? Оказывается, что при этом возникают искажения, причина которых заключена в свойствах нашего уха. Ухо имеет свою частотную характеристику с большими завалами на низких и высоких частотах. Особенность этой характеристики та, что она различна при различных громкостях. Чем тише звук, тем больше завалы краев характеристики. Поэтому понятно, что когда мы прослушиваем запись при пониженной громкости, звучание нам кажется обедненным, с недостатком низких и высоких звуковых частот.

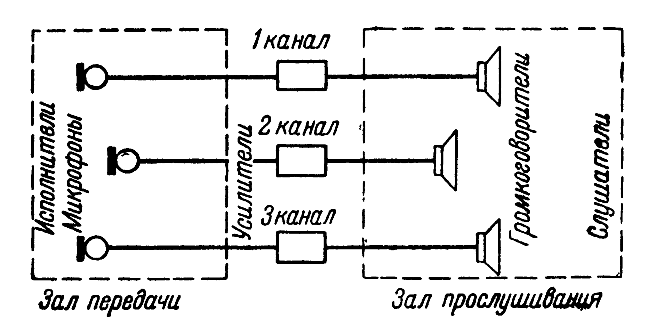
Как правило, увеличение громкости делает звучание, как говорят, более ярким и более сочным. Естественно поэтому, что для неискаженной звукопередачи требуется точное соблюдение натуральной громкости.

5. Звучание в закрытом помещении определяется не только прямыми звуковыми волнами, исходящими от источников, но и волнами, отраженными от стен, пола и других поверхностей. Как показывает практика, влияние отраженных волн на качество звучания весьма велико. Избыток и недостаток их одинаково вредны. Звучание получается в первом случае слишком гулким, во втором — глухим. При этом говорят о плохой акустике данного помещения.

Естественно, что для сохранения натурального звучания необходимо соотношение между прямыми и отраженными волнами в том помещении, где происходит прослушивание, сохранить таким же, как и в помещении, где производилась запись. Однако, так как всегда к звучанию отраженных волн в помещении записи добавляется звучание отраженных волн, возникших в помещении воспроизведения, абсолютное выполнение поставленного требования в закрытом помещении практически невозможно.

В специальных студиях для звукозаписи введением различных звукопоглощающих материалов делают звучание более глухим с таким расчетом, что когда к нему прибавится звучание отраженных волн, возникших в помещении прослушивания, общий результат будет благоприятным.

6. Благодаря тому, что человек слушает двумя ушами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга, он может определять направление, с которого приходит звук.



Фиг. 5. Схема стереофонической звукопередачи.

В естественных условиях мы привыкли к тому, что различные звуки приходят к нам от источников, расположенных в различных точках пространства. Необходимо поэтому для неискаженного звучания потребовать, чтобы оно сохранило пространственную перспективу расположения отдельных звуковых источников. Однако, обычно при прослушивании все звуки излучаются небольшой поверхностью диффузора громкоговорителя. Это является грубым искажением натуральности звучания, неустранимым в обычных системах звукозаписи и звукопередачи.

Отдельные опыты, которые ставились с целью сохранения при звукопередаче пространственности звучания, или, как говорят, стереофоничности, использовали так называемую многоканальную схему передачи (фиг. 5). В ней по каждому каналу передается звучание из определенной точки пространства. Громкоговорители в комнате прослушивания расположены так же, как и микрофоны, в помещении передачи (или записи). Благодаря этому излучаемые ими звуковые волны воссоздают в месте прослушивания довольно точную пространственную картину передаваемого звукового поля.

Практически, однако, ввиду сложности оборудования и невозможности осуществить прослушивание на разнесенные

громкоговорители в условиях небольшой комнаты или аудитории многоканальная система не нашла применения.

7. Система звукопередачи или звукозаписи не должна создавать собственных шумов, которые особенно неприятно прослушиваются в паузах. Удовлетворить этому требованию полностью не удается. Стараются, по возможности, ослабить шумы так, чтобы они лежали по крайней мере на 5 *дб* ниже уровня наиболее тихих звуков. Чем шире передаваемый динамический диапазон громкостей, тем, очевидно, ниже должен лежать относительный уровень шумов.

8. Звукозаписи присущи два вида специфических искажений: искажения за счет внутренних взаимодействий между отдельными участками звуконосителя (так называемый эффект эхо) и искажения за счет непостоянства скорости движения звуконосителя. Последние известны под названием плавания звука (при медленных изменениях скорости) и расщепления (при быстрых изменениях скорости).

В условия неискаженной звукопередачи следует, очевидно, включить требование отсутствия обоих указанных видов искажений. В то же время полное их устранение невозможно. Чтобы эти искажения не были заметны на слух, уровень звуков эхо должен лежать ниже уровня шумов, а колебания скорости звуконосителя не должны превышать 0,05% от номинальной скорости.

Следует также указать на необходимость поддержания средней скорости звуконосителя на номинальном уровне. В противном случае возникает еще один вид искажений, также специфических для звукозаписи, —искажение тональности. Для характеристики его можно, утрируя, сказать, что голос тенора начинает при этом звучать или как бас-профундо (понижение скорости), или как сопрано (повышение скорости). Для высококачественных установок отклонения от номинальной величины скорости не должны превышать 0,1%.

Подводя итоги, приходится констатировать, что получение идеального, неискаженного звучания при звукозаписи и звукопередаче в настоящее время невозможно. Однако практически достижимо хорошее звучание. Все системы звукозаписи и звукопередачи по качеству даваемого ими звучания условно можно разделить на 4 класса.

Соответствующие этим классам примерные показатели приведены в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 качественные показатели относятся ко всей системе в целом, включая микрофон и громкоговоритель, т. е. охватывают систему «от воздуха до воздуха».

Таблица 1

Наименование качественных показателей	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
Полоса пропускания, *гц* . .	30÷12 000	50÷10 000	100÷5 000	300÷2 500
Неравномерность частотной характеристики системы внутри этой полосы, *дб*	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5
Коэффициент гармоник на средних частотах, % . .	3	5	7	10
Динамический диапазон громкостей, *дб*	50	40	35	30
Уровень шумов относительно уровня наибольшего полезного сигнала, *дб*	—60	—50	—40	—35
Допустимые колебания скорости звуконосителя (для систем. звукозаписи), %	±0,05	±0,01	±0,2	±0,3
Допустимое отклонение скорости звуконосителя от номинала (для систем звукозаписи), %	±0,1	±0,1	±0,25	±1

Кроме того, к звукозаписывающим аппаратам предъявляется ряд эксплоатационных требований: простота и надежность аппаратуры, износоустойчивость звуконосителя, т. е. возможность многократного воспроизведения сделанной записи, негорючесть звуконосителя, удобство его в обращении и транспортировке и т. д. Эти требования очевидны и не нуждаются в пояснениях.

НАНЕСЕНИЕ ЗВУКОВОГО СЛЕДА

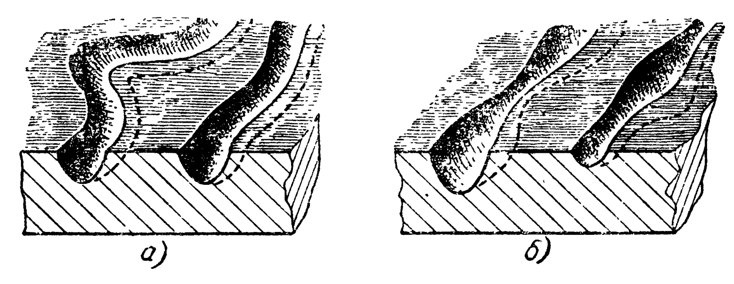
В механической системе записи звуковой след наносится на звуконоситель путем механической деформации его поверхности. При этом на ней образуется так называемая звуковая канавка.

Различают записи поперечные и глубинные. В первом случае, показанном на фиг. 6, *а*, мы видим извилистую канавку неизменной глубины. Образуется она при записи за счет перемещения деформирующего устройства, например, резца параллельно плоскости звуконосителя. Форма извилин канавки повторяет при этом форму записываемых колебаний.

При глубинной записи меняется глубина канавки (фиг. 6, *б*). Такая запись может быть получена при движениях

резца вверх и вниз перпендикулярно к плоскости звуконосителя.

Следует отметить, что практически не получают ту или иную запись в чистом виде. При поперечной записи за счет того, что фактически резец движется не по прямой, а вращается вокруг некоторой оси, глубина канавки в разных местах различна и, таким образом, имеются признаки глубинной записи. Точно так же глубинная запись влечет за собой изменение ширины канавки вследствие клиновидности резца, что является в данном случае также побочным эффектом.



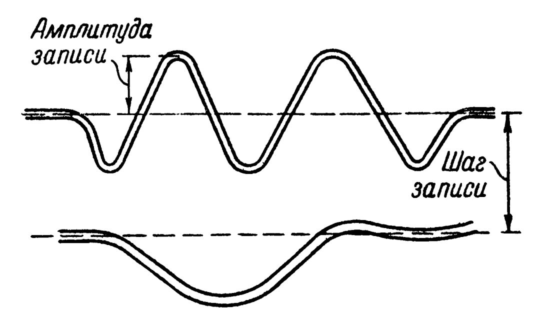
Фиг. 6. Форма канавки.
а — при поперечной записи; *б* — при глубинной записи.

Исторически первой была применена (в фонографе) глубинная запись. В сменившем фонограф граммофоне применялась и поперечная и глубинная запись. Хотя в настоящее время и в промышленной и в любительской практике применяют главным образом только поперечную запись, интерес представляют обе системы. Рассмотрим поэтому особенности каждой из них.

При поперечной записи извилистая форма канавок заставляет располагать их оси на определенном расстоянии друг от друга (шаг записи), несколько большем двойной максимальной амплитуды записи (фиг. 7); в противном случае появляется опасность сдвига тонкой перегородки между канавками при записи громких звуков, что создает при прослушивании эффект эхо. Может произойти даже перерезание канавок, что приведет к появлению искажений и разрушению в этих местах звуконосителя при воспроизведении. Удаление соседних канавок приводит, естественно, к сокращению числа витков спирали звуковой канавки, умещающейся на стороне диска, и к сокращению времени звучания. Для увеличения последнего надо уплотнить запись, т. е. уменьшить шаг, а это возможно лишь при сокращении

амплитуды записи. При этом возникает ряд осложнений, одно из которых — снижение громкости воспроизведения записи при пользовании простым граммофоном. Таким образом, проблема увеличения длительности звучания при поперечном способе достаточно сложна.

Более благоприятной в этом отношении является глубинная запись. Хотя здесь запись и сопровождается расширением канавок, что кладет предел допустимому их сближению, однако это расширение, как видно из фиг. 6, *б*, невелико, поскольку угол раскрытия канавки при глубинной записи выбирается меньше 90°. Кроме того, взаимные поперечные деформации канавок при их сближении в данном случае не вызывают в такой степени эффекта эхо, как в поперечной записи, так как воспроизводящее устройство чувствительно к глубинным, а не поперечным изменениям формы канавок. Поэтому удается значительно (в 2—3 раза по сравнению с поперечной записью) сократить шаг записи и соответственно увеличить время звучания. Если ограничиться меньшим возрастанием этого времени, можно производить записи с большей амплитудой, чем при поперечной записи, и, следовательно, передать больший динамический диапазон громкостей.



Фиг. 7. Расположение соседних канавок при поперечной записи.

В качестве примера укажем, что при нормальных размерах граммпластинки и скорости вращения 78 об/мин время звучания одной стороны глубинной записи (при некотором снижении качества) может быть доведено до получаса.

Наряду с указанными преимуществами глубинной записи пока свойственны следующие главнейшие недостатки:

1. Из-за различия сопротивления, оказываемого резцу со стороны звуконосителя при движении его вниз и вверх от нейтральной линии, возникают искажения: погружения

резца будут уменьшены. При записи на воскоподобных материалах это не сказывается столь существенно, но при более твердых материалах, например, даже при целлулоиде делает глубинную запись неприменимой. Поэтому в любительской практике, когда используются достаточно твердые материалы (причины этого будут пояснены далее), глубинная запись не находит применения.

2. Сечение стружки, образуемой при резании, во время записи заметно меняется; поэтому стружка ломается, попадает под резец и портит запись. Чтобы предупредить это явление, приходится сильной воздушной струей отсасывать стружку. В любительских условиях это создает дополнительные затруднения.

3. При глубинной записи, особенно с сильно сокращенным шагом, возникают трудности и в процессе снятия с записи металлической копии, необходимой в промышленном производстве граммофонных пластинок.

4. Наконец, надо вспомнить и то, что глубинные записи не могут быть воспроизведены распространенными сейчас акустическими и электрическими звукоснимателями, рассчитанными на поперечную запись.

Рассмотрим теперь способы образования при записи звуковых канавок на поверхности звуконосителя. Таких способов известно два: вырезывание и выдавливание.

При вырезывании канавки лишний материал звуконосителя удаляется с его поверхности в виде стружки, снимаемой резцом, при выдавливании—смещается иглой с закругленным концом в сторону от канавки. Выдавливание применимо лишь при поперечной записи, так как глубинная запись тупой иглой будет сопровождаться большими нелинейными искажениями, по рассмотренной нами в пункте 1 причине. Вырезывание применимо в обоих случаях и при поперечной и при глубинной записях.

Выбор способа записи зависит также и от материала звуконосителя. При записи на металлическом диске, например алюминиевом, можно применять только выдавливание. Вырезывание в металле дает очень неровные стенки канавок (из-за кристаллической структуры металла) и, как следствие этого, сильный шум при воспроизведении.

Однако большое число материалов допускает применение обоих способов образования канавки. Если к тому же учесть, что более принятой является поперечная запись, допускающая и вырезывание и выдавливание, мы придем к выводу о необходимости сравнения обоих способов записи. Проведем такое сравнение.

При вырезывании можно получить более резко очерченный контур звуковой канавки, чем при выдавливании, где в силу упругих свойств звуконосителя канавка заплывает, уменьшая при этом амплитуду записи и создавая дополнительные нелинейные искажения. Поэтому частотный диапазон записи больше при вырезывании (на мягких материалах он достигает в профессиональных установках 10 000 *гц*), чем при выдавливании, где он редко превосходит 3 000 *гц*.

Вырезывание требует весьма ответственной и трудно изготавливаемой детали — резца, сапфирового или стального. Малейший его изъян приводит к потере преимуществ в частотном диапазоне и, кроме того, создает сильный шум на записи, так как стенки канавки получаются уже негладкими. Выдавливание же может осуществляться обычной граммофонной иглой, ровная поверхность которой накатывает и делает гладкими стенки канавки; это приводит к снижению шума.

Удаление стружки при резании протекает не всегда гладко и требует во всяком случае непрерывного наблюдения во время всей записи. При выдавливании этот вопрос отпадает, так как стружки нет.

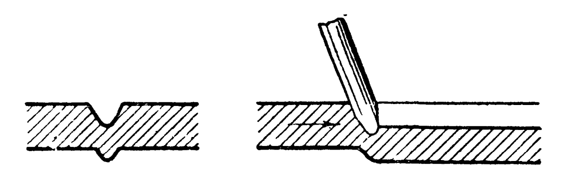
Выдавливание требует большей мощности рекордера и меньшей мощности двигателя, приводящего в движение звуконоситель, чем вырезывание. Это объясняется тем, что при поперечной записи (а только для нее и могут сравниваться оба способа получения канавки) боковые движения резца осуществляются за счет энергии звукописца, а движение звуконосителя относительно резца — за счет двигателя аппарата. У резца лобовое сопротивление, т. е. сопротивление движению звуконосителя, больше, чем у иглы с обтекаемым контуром, и поэтому мощность двигателя требуется большей. Боковые же перемещения резца в звуконосителе, совершаемые в направлении заточенных граней, более легки, чем движения тупой иглы, поэтому в последнем случае требуется рекордер большей мощности.

Интересно отметить, что вырезывание механически ослабляет звуконоситель и создает предпосылки к его разрушению при многократном воспроизведении. При выдавливании же около канавки происходит уплотнение звуконосителя и, следовательно, повышение его прочности. Поэтому при выдавливании можно брать более тонкий звуконоситель.

Подводя итоги, можно заключить, что вырезывание канавки дает более высокое качество записи, но требует условий, приближающихся к профессиональным. Поэтому в любительской записи, когда эти условия отсутствуют, часто

применяют способ выдавливания канавки. Обычно при этом используют звуконоситель типа целлулоида и запись ведут на резиновой подложке — диске, подкладываемом под звуконоситель. Звуковая канавка имеет при этом форму, показанную на фиг. 8. Глубина погружения иглы в звуконоситель при записи регулируется грузом, крепящимся к рекордеру. Практически она составляет 100—150 микрон. Для выдавливания может быть взята обыкновенная стальная граммофонная игла хорошего качества, но лучшие результаты дает сапфировая игла.

Мы рассмотрели два способа нанесения звукового следа в механической системе звукозаписи, причем оба они применяются в том случае, когда звуконоситель, служивший для записи, используется и при воспроизведении.



Фиг. 8. Выдавливание звуковой канавки при записи с мягкой подложкой.

Запись, сделанная способом выдавливания или вырезывания, сразу после окончания может быть прослушана, поэтому получаемые пластинки (вернее диски) называются пластинками прямого воспроизведения. Копирование в любительских условиях (обычно нужно не более одной-двух копий) производится путем перезаписи.

Другое дело промышленное производство граммпластинок; здесь с записи необходимо сделать десятки и сотни тысяч экземпляров копий. В этом случае запись ведется также на диске (подлинник), но он предназначается не для воспроизведения, а лишь для получения металлической матрицы, с помощью которой затем штампуют граммпластинки (копии). Здесь мы встречаемся, таким образом, с двумя звуконосителями: один — звуконоситель подлинника служит только для записи, другой — звуконоситель граммпластинки только для воспроизведения. Таким образом, звуковой след на граммпластинку наносится отличным от рассмотренных нами способом — прессованием.

ЗВУКОНОСИТЕЛИ

Звуконосителем называется то тело, на котором в процессе записи образуется звуковой след. От него требуется, чтобы этот след мог достаточно длительно сохраняться и был бы практически пригоден для воспроизведения с его помощью звуковых колебаний, аналогичных записанным. Звуконосителю можно придавать различную форму, а так как в большинстве случаев при записи и воспроизведении движется звуконоситель, то с его формой непосредственно связан и характер этого движения.

В механической звукозаписи использовались различные формы звуконосителя — диск, лента и цилиндр. Наиболее хорошо известен диск, так как такую форму имеет промышленная граммофонная пластинка. Не так давно был распространен звукозаписывающий аппарат, носивший название «шоринофон». В нем звуконоситель имел форму ленты, на поверхности которой наносилась звуковая канавка. Для лучшего использования звуконосителя и увеличения времени записи ленту склеивали в бесконечное кольцо. Благодаря равномерному смещению рекордера во время записи в направлении, перпендикулярном движению ленты, канавка наносилась непрерывно по всей поверхности ленты. Два варианта подобного аппарата показаны на фиг. 9. В первом лента звуконосителя свободно висела в виде кольца, во втором помещалась в специальной кассете.

Звуконоситель в форме цилиндра применялся, как мы знаем, в фонографе.

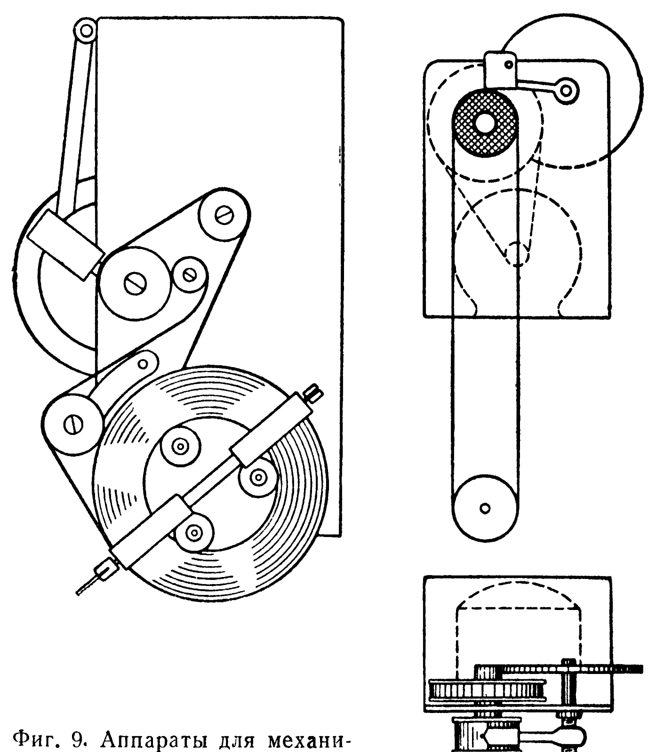
В настоящее время преобладающее применение имеет диск. Это объясняется главным образом тем, что из всех трех форм диск наиболее удобен для целей массового тиражирования с помощью прессования. Кроме того, диск наиболее удобен и при воспроизведении. Его легко можно поставить на аппарат и снять, он не требует перемотки, как лента, и занимает меньший объем, чем цилиндр.

Учитывая все эти преимущества, любители перешли сейчас также в основном на применение дисков. В тех же случаях, когда хотят получить длительное звучание записи и возможность монтажа, с успехом применяют магнитную запись на специальную ленту. Интересно отметить, что и в аппаратах магнитной записи, рассчитанных на широкое применение, делают попытки применить ферромагнитный звуконоситель, имеющий форму диска. В любительской записи диск имеет, кроме того, то преимущество, что записи на нем могут быть воспроизведены не только владельцем звукоза-

писывающего аппарата, но и любым обладателем граммофона или электропроигрывателя

Поэтому мы рассмотрим запись на диск более подробно.

Звуковая канавка наносится на поверхность диска в виде спирали, образующейся за счет вращения диска и смещения рекордера в радиальном направлении. Во всех аппаратах принято равномерное вращение диска по направлению часовой стрелки; что касается движения звукописца, то оно может происходить как от края диска к его центру, так и в обратном направлении. Наиболее употребителен первый вариант.



Фиг. 9. Аппараты для механической звукозаписи на ленту.

Нетрудно видеть, что линейная скорость звуконосителя, т. е. скорость движения его относительно резца или иглы при сохранении постоянного числа оборотов диска в разных местах диска будет различна. Ближе к центру скорость будет меньше, чем у края. Известно, что качество записи пропорционально скорости звуконосителя. Поэтому на диске

качество записи снижается по мере приближения к центру. Это ограничивает минимально допустимый диаметр спирали канавки. Обычно, не доходя 3÷5 *см* до центра, запись прекращают, оставляя внутреннюю часть диска (так называемое зеркало) неиспользованной. На нее наклеивается этикетка.

Были попытки вести запись на диск с постоянной линейной скоростью. Для этой цели необходимы аппараты, у которых окружная скорость диска, т. е. число оборотов в секунду, увеличивается по мере приближения резца к центру. В этом случае линейная скорость и качество сохраняются неизменными во время всей записи. Однако механизм аппарата получается при этом настолько сложным, что практического применения этот способ не нашел.

Стандартным числом оборотов диска является 78 об/мин. Менее распространена скорость $33\frac{1}{3}$ об/мин. При 78 об/мин линейная скорость изменяется в пределах от 100 до 35 *см/сек* (при диаметре диска 25 *см*, что соответствует обычной граммпластинке).

Все звуконосители можно разделить на специализированные (только для записи или только для воспроизведения) и универсальные (и для записи и для воспроизведения). К первым, например, относится шеллачная масса, идущая для изготовления граммпластинок и пригодная только для воспроизведения, ко вторым — любительские пластинки из целлулоида.

Это подразделение обусловливается различием в требованиях, которые предъявляются к звуконосителю в случае записи и в случае воспроизведения.

Для записи желателен мягкий материал, легко поддающийся резцу или игле. Наоборот, для воспроизведения необходим достаточно твердый звуконоситель, чтобы обеспечить износоустойчивость записи. Кроме того, мягкий эластичный звуконоситель плохо передает звукоснимателю механические усилия и поэтому непригоден для акустического воспроизведения (запись будет слышна тихо). Универсальные звуконосители удовлетворяют вышеизложенным противоречивым требованиям лишь частично, так как здесь приходится итти на компромисс.

В производстве граммофонных пластинок первичная запись предназначается не для воспроизведения, а лишь для получения с нее металлической копии. Поэтому ее осуществляют на звуконосителе, предназначенном только для записи. Это обычно восковой сплав, состоящий из ряда мине-

ральных, растительных и животных восков, а также других органических веществ. Сокращенно он именуется просто воском. Для проведения записи из воскового сплава отливаются толстые диски, у которых рабочая поверхность шлифуется и полируется до зеркального блеска. Не следует думать, что запись на воске совершенно не допускает воспроизведения. Несколько раз ее можно прослушать при помощи очень легкого электрического звукоснимателя. Далее канавки заметно разрушаются.

Пластические массы, идущие для прессования граммпластинок, являются звуконосителями, предназначенными только (или в основном) для воспроизведения. Наиболее известны из них шеллачная масса, хлорвинилпековая масса и винилитовая смола.

Универсальные звуконосители наиболее интересны для любителей звукозаписи. Подобные звуконосители используются и в профессиональной практике. Запись, сделанная на этих звуконосителях, может быть сразу же прослушана. Были попытки после записи подвергать эти звуконосители той или иной специальной обработке, в результате которой звуконоситель становился бы более твердым. Однако такой способ себя не оправдал, так как обычно приводил к деформации звуковых канавок.

Сейчас благодаря применению для записи электрических рекордеров, развивающих значительные полезные механические усилия, стало возможным использовать более твердые материалы, допускающие достаточное число воспроизведений. Наибольшее распространение имеют следующие универсальные звуконосители.

Лаковые диски. Изготавливаются путем равномерного нанесения на диск из алюминия, стекла или пластмассы тонкого (150—300 микрон) слоя нитролака. Застывая, лак образует на поверхности прочную и в то же время эластичную пленку, пригодную для нанесения на нее звуковой канавки. Лак наносится на обе стороны диска, одинаково пригодные для записи. Запись обычно ведется вырезыванием. Характерная особенность лаковых дисков — малый уровень шума, возрастающий, правда, по мере увеличения времени хранения дисков.

Целлулоидные диски. Вырезаются из листового целлулоида толщиной от 0,2 *мм* и выше. В любительских условиях для этого обычно применяют фотографически использованную рентгеновскую или широкую фотопленку, с которой в теплой воде смывается эмульсионный слой.

Целлулоид допускает как вырезывание, так и выдавливание канавок. При толщине более 0,4 *мм* запись можно делать на обеих сторонах диска не опасаясь прорезания материала. Более тонкий целлулоид рекомендуется наклеивать на бумажные или картонные диски. Для клейки можно применять жидкий столярный клей, а на время просыхания диски класть под пресс. Края их затем зачищаются шкуркой. В центре диска при помощи пробойника пробивается отверстие диаметром $7^{+0,2}_{мм}$. Его следует делать возможно точнее, так как иначе при воспроизведении диск будет неплотно сидеть на осевом шпеньке и бить из стороны в сторону. Это сильно увеличивает износ записи и вызывает появление «плавания» звука.

Целлулоидные диски — самый распространенный звуконоситель для механической записи в любительских условиях.

Алюминиевые диски. Для записи выдавливанием могут также применяться диски из алюминия Поверхность их должна быть хорошо отполирована и перед записью слегка натерта воском. Несмотря на применение выдавливания, уровень шума при записи на алюминиевых пластинках весьма высок.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ

На примере фонографа мы познакомились с простейшей формой механической звукозаписи, получившей название акустической записи. Простота в данном случае заключается прежде всего в тех энергетических преобразованиях, которые сопутствуют процессу записи. Акустическая энергия звуковой волны за вычетом неизбежных потерь на трение превращается в механическую энергию движения резца. За счет этой энергии, а также энергии движения звуконосителя и совершается работа по вырезанию или выдавливанию звуковой канавки.

Такая запись получила название акустической, так как акустическая энергия записываемого звука в этом случае непосредственно используется для нанесения звукового следа.

При воспроизведении записи, сделанной на фонографе, происходят также простейшие энергетические преобразования, но в обратном порядке: часть энергии движения звуконосителя превращается в механическую энергию движения мембраны. Последняя преобразовывается (за вычетом потерь) в акустическую энергию звуковых волн, возбуждающихся в рупоре. Такое воспроизведение также получило название акустическое, так как в этом случае непосредст-

венным результатом взаимодействия движущегося звуконосителя со звукоснимателем является образование акустических (звуковых) волн.

Акустическая запись применяется теперь очень редко и главным образом лишь в диктовальных установках. Что же касается акустического воспроизведения, оно пользуется весьма широким распространением (портативные граммофоны) и является пока что преобладающей формой звуковоспроизведения граммофонных пластинок. Поэтому запись грампластинок ведут с расчетом на акустическое воспроизведение, за исключением случаев, когда пластинки предназначаются только для электрического воспроизведения (через усилитель и громкоговоритель). Об этом на этикетке делается соответствующая надпись.

Поэтому разбор технических характеристик записи следует начать с изучения процесса акустического воспроизведения.

При акустическом воспроизведении мембрана приходит в колебательное движение с частотой f, равной записанной частоте, и амплитудой a, пропорциональной амплитуде записи. Напомним, что под амплитудой записи мы понимаем величину наибольшего отклонения оси звуковой канавки от среднего положения.

Теория показывает, что сила звука, излучаемого мембраной, прямо пропорциональна произведению $a \cdot f$. Отсюда можно сделать два вывода:

1. Для обеспечения достаточной громкости при акустическом воспроизведении произведение af должно быть также достаточно велико.

2. Для равномерной передачи всех записанных частот произведение af во всем рабочем диапазоне частот должно оставаться постоянным: $af = C$, где C — некоторая постоянная величина.

Из второго вывода следует, что амплитуда записи должна убывать обратно пропорционально частоте

$$a = \frac{C}{f}.$$

Наибольшей величины она достигает на самой низкой записываемой частоте. Идеальная характеристика, обеспечивающая равномерное излучение звуковой мощности на всех частотах при акустическом воспроизведении, приведена на фиг. 10, a (предполагается, что характеристика звукоснимателя идеальная, т. е. что искажения этим звеном не вносятся).

Максимальная амплитуда записи $a_{макс}$ должна выбираться возможно большей для того, чтобы обеспечить достаточно громкое акустическое воспроизведение. Однако увеличение ее связано с обязательным увеличением и шага записи, так как в противном случае возможно перерезание соседних канавок. Вследствие этого сокращается время записи, что, разумеется, нежелательно. Поэтому идут на компромисс и практически выбирают в промышленных граммпластинках величину $a_{макс}$ равной примерно 40 микрон.

Посмотрим, какова же будет минимальная величина амплитуды записи, если придерживаться идеальной характеристики, изображенной на фиг. 10, *а*. Если принять, что рабочий диапазон частот, записываемых на граммпластинку, составляет 100—5 000 *гц*, то частоте 5 000 *гц* получим:

$$a_{мин} = a_{макс} \frac{f_{мин}}{f_{макс}} = 40 \frac{100}{5\,000} = 0{,}8 \text{ микрон.}$$

Воспроизвести запись при такой незначительной амплитуде практически нельзя, так как шероховатости стенок канавки будут создавать шум, заглушающий основной звук. Если же увеличить значение $a_{мин}$, то придется во столько же раз увеличить и $a_{макс}$, а, как мы видели раньше, это приведет к необходимости сократить время звучания стороны пластинки.

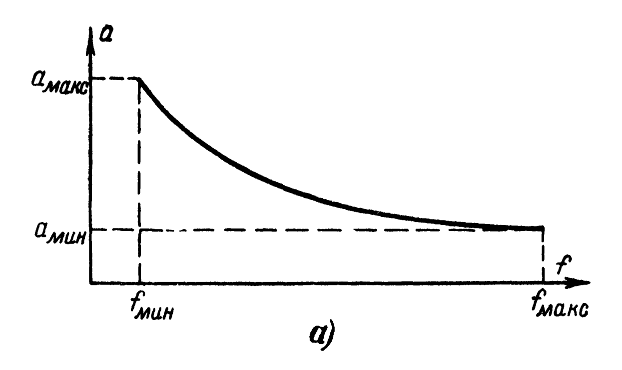
Мы приходим, таким образом, к выводу о невозможности вести запись по идеальной характеристике. Поэтому идут на ухудшение передачи низких частот, применяя другую характеристику, показанную на фиг. 10,*б*.

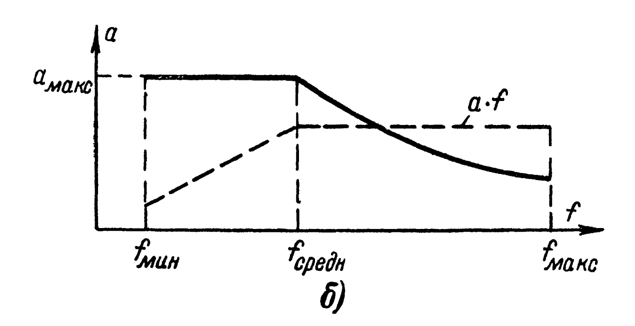
Начиная с частоты f_0 и ниже, ограничивают амплитуду записи величиной $a_{макс} = 40$ микрон. Частота f_0 выбирается обычно между 400 и 1 000 *гц*. На этой же фигуре пунктиром показан ход кривой произведения $a \cdot f$, характеризующего отдаваемую при воспроизведении акустическую мощность. При таком режиме значительно улучшается передача высоких частот, так как величина $a_{мин}$ значительно увеличивается:

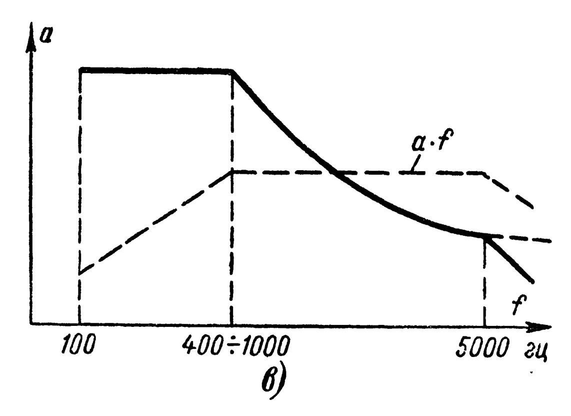
$$a_{мин} = a_{макс} \frac{f_0}{f_{макс}} = 40 \frac{500}{5\,000} = 4 \text{ микрона.}$$

Это уже обеспечивает удовлетворительное перекрытие собственных шумов пластинки.

Можно было бы предположить, что увеличение амплитуды записи на верхней частоте рассмотренного диапазона





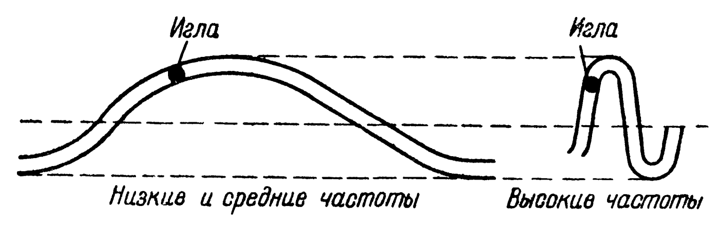


Фиг. 10. Зависимость амплитуды записи от частоты.

а — идеальная характеристика; *б* — при ограничении на низких частотах; *в* — с ограничением низких частот и улучшением огибания на высоких частотах.

позволяет вообще несколько расширить его в сторону более высоких частот.

Однако снова геометрия звуковой канавки накладывает ограничения. Как показано на фиг. 11, при записи высоких частот канавка получается более криволинейной, чем на более низких частотах (при одинаковых амплитудах записи). При воспроизведении игла может лишь до тех пор хорошо проходить извилины канавки, пока их радиус кривизны не станет меньше радиуса закругления кончика иглы; в последнем случае, как нетрудно понять, игла перестанет воспроиз-



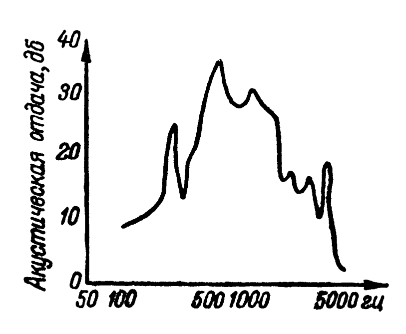
Фиг. 11. Прохождение канавки иглой на разных частотах.

водить запись и при своем движении будет разрушать стенки канавки. Если произвести расчет, приняв во внимание, что радиус закругления иглы равен примерно 50 микрон, то получим, что при записи с характеристикой, соответствующей фиг. 10,*б*, возможно воспроизведение частот, только немного больших 5 000 *гц*. Для улучшения огибания канавки иглой на более высоких частотах идут на уменьшение с повышением частоты амплитуды записи в большей степени, чем это требуется идеальной характеристикой. Таким образом, учтя все сказанное, мы приходим к выводу, что амплитуда a должна при записи уменьшаться с повышением частоты так, как это показано на фиг. 10,*в*.

Напомним, что приведенные характеристики предполагают постоянство силы записываемого звука на всех частотах рабочего диапазона.

На той же фиг. 10,*в* пунктиром показано изменение при этом в зависимости от частоты величины произведения af. Как уже говорилось ранее, от величины af зависит при воспроизведении излучаемая акустическая мощность. Поэтому кривую зависимости этой величины от частоты мы вправе рассматривать так частотную характеристику воспроизведения пластинки акустическим способом. Однако практически она значительно хуже, так как до сих пор мы не учитывали неравномерность частотной характеристики акустического звукоснимателя (мембраны и рупора). Звукоснимате-

ли с большими рупорами обладают сравнительно неплохой характеристикой. Частотная характеристика звукоснимателей, более распространенных портативных граммофонов с рупором, расположенным внутри ящика, значительно хуже (фиг. 12). Она характеризуется большой неравномерностью и наличием резко выраженных резонансных пик. Этим и объясняется то низкое качество звучания, которое свойственно акустическому способу воспроизведения. Попытки улучшить его предпринимались неоднократно, но не дали решающих результатов. На фиг. 13 показаны конструкции различных акустических звукоснимателей. Все они содержат мембрану, связанную через рычаг с иглой. Края мембраны крепятся в резиновых амортизаторах к краям звуковой коробки. Для повышения отдаваемой акустической мощности звуковая коробка соединяется с рупором.



Фиг. 12. Частотная характеристика портативного граммофона.

Основная трудность в повышении качества акустических звукоснимателей состоит в том, что для получения достаточной громкости звучания они одновременно должны иметь возможно больший к. п. д. В то же время для выравнивания частотной характеристики (устранения различного рода резонансных явлений) нужно вносить затухание в систему, снижая этим самым ее чувствительность. Все это вместе с желанием сократить размеры устройства создает пока еще непреодолимые трудности.

Следует отметить, что акустический звукосниматель на резонансных частотах может внести и нелинейные искажения, часто прослушиваемые в виде характерного дребезжания.

Таким образом, акустическое воспроизведение обладает следующими недостатками и преимуществами.

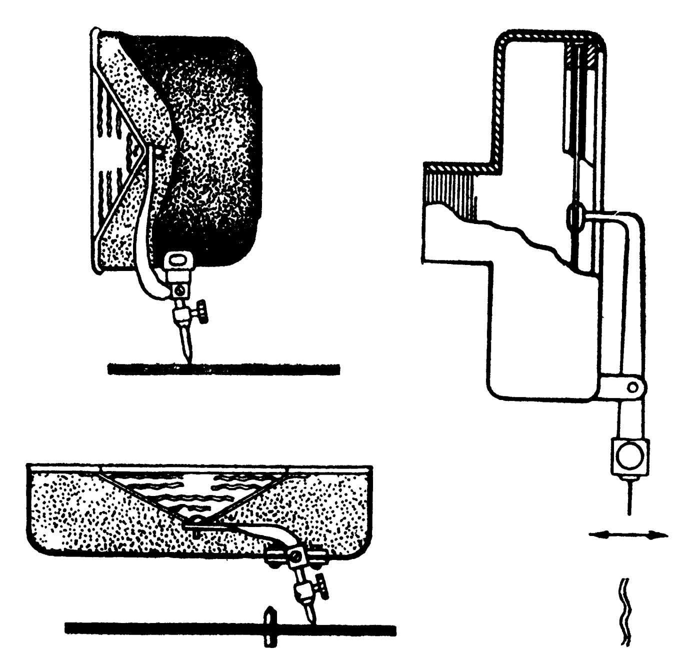
Недостатки. Низкое качество воспроизведения, а также невозможность получения большой громкости.

Невозможность осуществлять изменение громкости и тембра звучания в соответствии с вкусом и желанием слушателя (кроме как подбором иглы).

Повышенный износ пластинки, вызванный значительным весом акустического звукоснимателя и большой величиной

усилия, воздействующего на канавку со стороны иглы при передаче энергии от звуконосителя к звукоснимателю.

Преимущества. Исключительная простота управления аппаратом звуковоспроизведения, а также отсутствие каких-либо источников энергии, кроме требующегося для движения звуконосителя. В случае применения пружинного двигателя воспроизведение становится возможным в любой местности, в походных условиях и т. п.



Фиг. 13. Акустические звукосниматели.

Эти преимущества предопределили то широкое распространение, которое имеет в настоящее время акустическое воспроизведение.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ

Более совершенной, чем акустическая, является электрическая запись и воспроизведение звука. Она характерна усложнением хода энергетических преобразований, за счет введения новых звеньев — усилителей электрических колебаний звуковой частоты. Блок-схема электрической записи показана на фиг. 14. Звуковые волны воздействуют на мик-

рофон, преобразующий звуковые колебания в электрические, соответственной формы. Эти колебания, после того как их мощность повышается усилителем, подводятся к особому прибору — рекордеру, называемому иногда звукописцем. Здесь происходит обратное преобразование электрических колебаний в механические, совершаемые якорем рекордера вместе с резцом (или иглой). Вырезывание резцом (или выдавливание иглой) звуковой канавки происходит так же, как и при акустической записи.

Блок-схема электрического воспроизведения механической записи показана на фиг. 15. Колебания иглы, вызывае-



Фиг. 14. Схема электрической записи на диск.
1 — микрофон; 2 — усилитель; 3 — рекордер; 4 — диск.

Фиг. 15. Схема электрического воспроизведения.
1 — диск; 2 — звукосниматель; 3 — усилитель; 4 — громкоговоритель.

мые ее движением по звуковой канавке, передаются электрическому звукоснимателю (неправильно называемому иногда адаптером). Здесь они преобразуются в соответственные электрические колебания. Далее следует усиление электрических колебаний (повышение мощности) и преобразование их громкоговорителем в звуковые колебания.

Особенностью электрической записи и воспроизведения является привлечение дополнительных источников энергии, — тех, от которых производится питание усилителей. Эти дополнительные источники являются вместе с тем и основными. Если при акустической записи энергия звуковой волны расходовалась на деформацию звуконосителя, то в данном случае при электрической записи она лишь управляет расходом электрической энергии. Также при воспроизведении механическая энергия, передаваемая через иглу звукоснимателю, идет не на создание звуковых волн, как при акустическом воспроизведении, а лишь на управление расходом энергии источников электропитания усилителя.

Такой ход энергетических преобразований позволяет при конструировании рекордера и звукоснимателя главное внимание уделить качеству, а не получению возможно большего к. п. д., как это приходится делать при акустической записи и воспроизведении.

В этом случае удается значительно повысить показатели как звукоснимателя, так и рекордера. Кроме того, наличие

усилителей позволяет корректировать искажения, вносимые отдельными звеньями тракта записи и воспроизведения (включая и звуконоситель).

Таким образом, первым крупным преимуществом электрической записи и воспроизведения является возможность получения более высокого качества звучания.

Другое преимущество электрического воспроизведения состоит в возможности обслужить значительную аудиторию, а также плавно регулировать громкость и тембр звучания в соответствии со вкусом и желаниями слушателей. Третьим преимуществом является возможность уменьшить износ звуконосителя при воспроизведении за счет использования более легких звукоснимателей.

Значительно удобнее также и электрическая запись, поскольку преобразованными электрическими колебаниями куда проще управлять, чем исходными звуковыми. Например, вопрос регулирования уровня при акустической записи мог решаться только изменением расстояния от рупора до исполнителя или изменением силы звука. Исполнитель не мог говорить (или играть) тихо — запись в этом случае выходила неразборчивой. Еще труднее было записать группу исполнителей, например оркестр. Более далекие инструменты могли легко быть заглушены более близкими. Строили даже специальные помещения для записи, имеющие форму рупора. В этом «рупоре» располагались исполнители, а на узкой стороне его устанавливался звукозаписывающий аппарат.

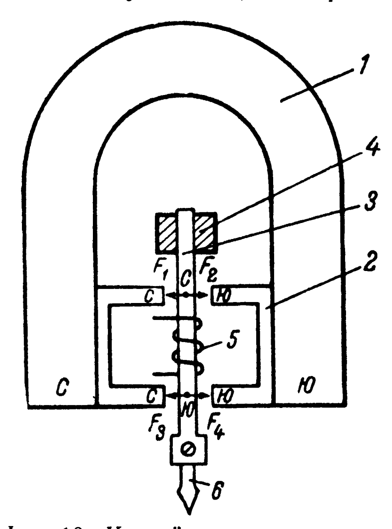
Все эти затруднения легко разрешаются при электрической записи. Благодаря наличию усилителя исполнитель может вести себя перед микрофоном так же, как перед зрителем в театре или на концертной эстраде. Ведущий запись, плавно меняя усиления усилителя, обеспечивает запись в надлежащем соотношении как самых тихих, так и наиболее громких звуков.

В случае большого числа исполнителей их располагают перед несколькими микрофонами. В цепи каждого микрофона имеется свой усилитель и ведущий запись надлежащим образом регулирует усиление колебаний, пришедших от отдельных микрофонов. И в этом случае исполнители свободно, без напряжения участвуют в записи, подчас забывая, что их единственными слушателями являются маленькие коробочки — микрофоны.

Правда, все преимущества электрической записи, а также и воспроизведения получаются за счет значительного усложнения аппаратуры, введения микрофонов, усилите-

лей, громкоговорителей и т. д. Но поскольку запись производят или на специальных фабриках и студиях, или квалифицированные энтузиасты-любители, это усложнение не является решающим. Поэтому сейчас запись в большинстве случаев производится именно электрическим путем.

Воспроизведение в большинстве случаев происходит в бытовых условиях, где простота и портативность установки имеют решающее значение. Поэтому электрическое воспроизведение, как указывалось ранее, применяется пока еще реже, чем акустическое. Учитывая это, электрическую запись производят с учетом требований акустического воспроизведения. Правда, в некоторых случаях (например, при любительских записях, рассчитанных на индивидуальное пользование) записи делают, специально рассчитывая их только на электрическое воспроизведение. Особенности таких записей будут рассмотрены ниже.



Фиг. 16. Устройство электромагнитного рекордера.

1 — постоянный магнит; *2* — полюсные наконечники; *3* — якорь; *4* — резина; *5* — обмотка; *6* — резец.

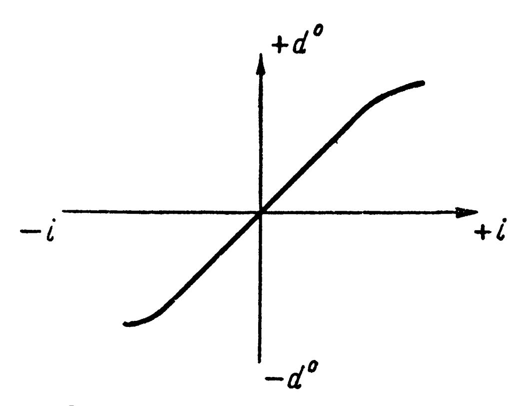
Мы нашли, исходя из условий акустического воспроизведения и геометрии звуковых канавок, какой должна быть зависимость амплитуды записи от частоты (фиг. 10,*в*).

Акустическая отдача при воспроизведении пропорциональна, как указывалось, не самой амплитуде записи, а произведению ее на частоту af. Поэтому под характеристикой записи принято понимать зависимость этого произведения от частоты. На фиг. 10,*в* требуемая характеристика записи показана пунктиром. Выясним, какой должна быть частотная характеристика усилителя (вернее всего, электрического тракта) для того, чтобы получить эту характеристику записи.

Амплитуда записи определяется (если пренебречь некоторым заплыванием канавки в случае ее выдавливания) амплитудой колебания якоря рекордера. Устройство последнего показано на фиг. 16; работает он следующим образом.

На якорь рекордера действуют силы магнитного притяжения к полюсным наконечникам F_1, F_2, F_3, F_4. Благодаря симметричному расположению якоря до тех пор, пока по обмотке катушки не будет пропущен электрический ток, эти силы равны и уравновешивают друг друга. При прохождении тока якорь намагничивается и силы притяжения его к полюсным наконечникам становятся различными. В случае, изображенном на фигуре, верхний конец якоря сильнее тяготеет к правому полюсному наконечнику, а нижний — к левому. Силы F_2 и F_3 преобладают над силами F_3 и F_4.

В результате появляется результирующая пара сил, стремящаяся повернуть якорь вокруг оси в направлении движения часовой стрелки. Если бы на якорь больше ничто не действовало, то это движение продолжалось бы до тех пор, пока он не прилип к полюсным наконечникам. Этому, однако, мешает упругость резины, в которой зажат верхний конец якоря (в некоторых конструкциях эту роль выполняет специальная пружина). Резиновая прокладка (или пружина) при всяком отклонении якоря от положения равновесия создает противодействующий момент сил, пропорциональный углу, на который якорь повернулся, и стремящийся вернуть якорь в начальное положение. Очевидно, что благодаря упругости резины вращение якоря будет происходить не до соприкосновения с наконечниками, а лишь на такой угол, при котором наступит равенство момента вращения и момента противодействия.

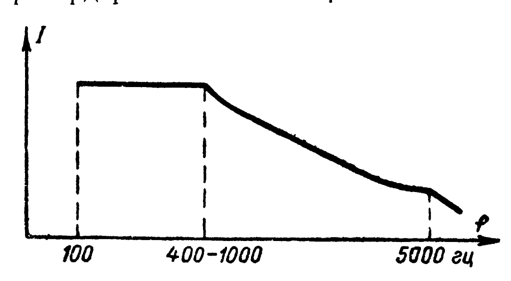


Фиг. 17. Характеристика отклонения якоря рекордера.

Величина этого угла будет тем больше, чем сильнее ток в обмотке катушки. Изменение направления тока вызовет отклонение якоря в обратную сторону. Зависимость эта графически показана на фиг. 17. Кривая имеет средний линейный участок и нелинейные окончания, определяемые тем, что при большом сжатии реакция резины растет уже не пропорционально. Для работы во избежание появления нелинейных искажений используется средний линейный уча-

сток, на котором угол поворота якоря пропорционален силе тока в обмотке. Следовательно, при малых углах поворота якоря можно считать, что горизонтальное смещение конца закрепленного в якоре резца или иглы пропорционально силе тока в обмотке рекордера. А это смещение определяет конфигурацию звуковой канавки. Таким образом, при работе на линейном участке амплитуда записи пропорциональна амплитуде тока, протекающего через обмотку рекордера.

Вследствие этого мы вправе характеристику, показанную на фиг. 10,*в*, представить как зависимость амплитуды тока рекордера от частоты при неизменной силе записываемого звука (фиг. 18). При этом мы считаем, что пропорциональность между амплитудой записи и амплитудой тока сохраняется одинаковой на всех частотах, т. е. предполагаем частотную характеристику самого рекордера идеальной.



Фиг. 18. Зависимость тока в обмотке рекордера от частоты.

Далее предположим, что и частотная характеристика микрофона тоже идеальная, т. е. что при постоянной силе звука (или, что то же, при постоянном звуковом давлении) он на всех звуковых частотах в рассматриваемом диапазоне вырабатывает одну и ту же э. д. с. Эта э. д. с. действует на входе усилителя записи. Поэтому характеристика, изображенная на фиг. 18, показывает одновременно, как должен изменяться в зависимости от частоты ток на выходе усилителя при подведении к его входу на всех частотах постоянного напряжения. Так как обычно характеристика усилителя строится не по току, а по выходному напряжению, необходимо помножить значения тока на полное сопротивление рекордера.

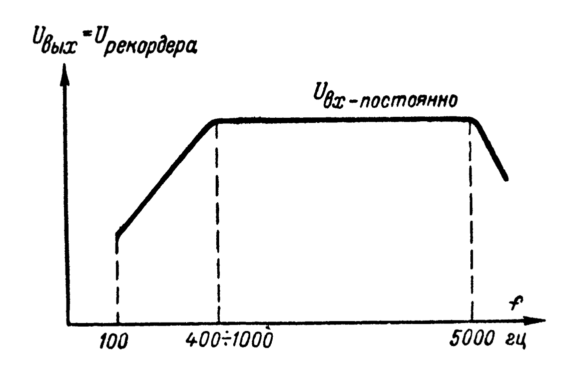
Последнее можно считать чисто индуктивным и растущим, следовательно, с частотой, так как активное сопротивление обмотки невелико. В результате перемножения получаем частотную характеристику усилителя записи по напряжению (фиг. 19). Как видно, она должна быть аналогична характеристике записи, которую мы хотим получить.

Допустимы ли отклонения от этой характеристики? Оказывается, не только допустимы, но и желательны. Вспомним,

что акустический звукосниматель (а на него мы в основном и рассчитываем) имеет резкие завалы в области низких и высоких частот (фиг. 12). Поэтому было бы желательным при записи осуществлять подъем на крайних частотах диапазона.

В то же время опасность перерезания канавок на низких частотах и неогибания иглой канавки на высоких заставила нас применять характеристику, имеющую вместо требуемых подъемов завалы.

Вспомним далее, что эту характеристику мы нашли в предположении, что сила записываемых звуков одинакова



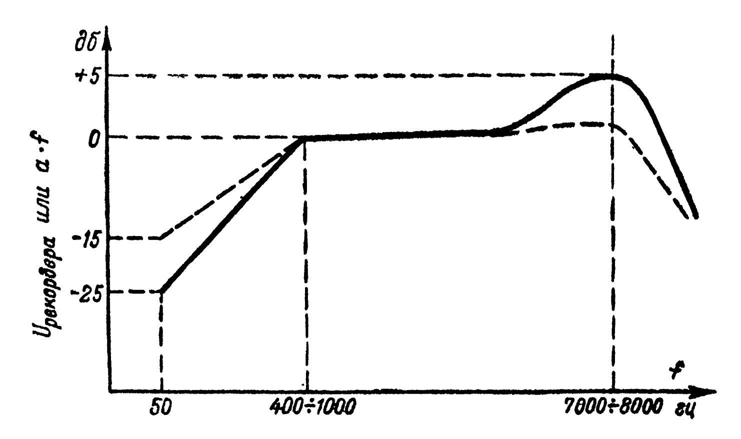
Фиг. 19. Частотная характеристика усилителя записи.

на всех частотах. Однако такое предположение не соответствует действительным условиям записи человеческой речи или музыки. В большинстве случаев энергия этих источников звука сосредоточена в области средних частот. Звуки низких и высоких частот возникают со значительно меньшей силой. Поэтому оказывалось возможным в области низких частот сократить завал характеристики записи. Степень этого сокращения изменяется в зависимости от характера записываемого звука. В области же высоких частот делают даже подъем характеристики, так как в спектрах натуральных звучаний эти частоты очень слабо выражены. И здесь величина подъема выбирается различной для разных записей. Регулировку формы характеристики записи производит ведущий запись звукорежиссер.

Окончательная форма характеристики записи приведена на фиг. 20. Правда, она не учитывает возможной неравномерности частотных характеристик микрофона и рекордера (их мы предполагали идеальными). При наличии таких не-

равномерностей в характеристику записи должны быть, естественно, внесены коррективы. Однако практически в случае применения современного микрофона в диапазоне от 100 до 5 000 *гц* они оказываются незначительными.

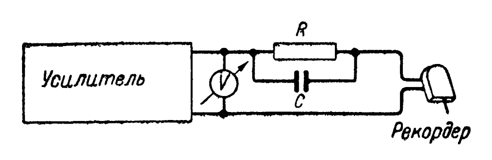
Завал характеристики записи в области низких частот и снижение для этой цели на этих частотах напряжения на рекордере достигаются обычно или введением соответствую-



Фиг. 20. Практически применяемая характеристика записи.

щей коррекции в усилителе записи, или включением последовательно с рекордером конденсатора *C* и сопротивления *R* (фиг. 21). Их величины подбираются в зависимости от сопротивления обмотки рекордера и требуемого завала характеристики. Подъем высоких частот осуществляется в схеме усилителя.

Проверка характеристики записи может производиться путем измерения напряжения на рекордере на разных частотах при постоянном напряжении на входе усилителя. Однако чаще эту проверку ведут по конечному результату работы рекордера, т. е. по самой записи различных частот.



Фиг. 21. Схема включения корректирующего контура.

Такая проверка получила название снятия бликовой характеристики. Объясняется это название следующим: если записать на диск какую-либо звуковую частоту и рассматривать потом полученную запись в свете плоскопараллельных

лучей (например, при дневном свете или свете удаленной яркой электрической лампы), мы увидим отражение лучей от стенок звуковых канавок, образующее светлый блик на записи. Анализ показывает, что ширина этого блика, перпендикулярная направлению канавок, пропорциональна произведению амплитуды записи на частоту af.

Если подавать на вход усилителя записи напряжение различных звуковых частот с постоянной амплитудой и производить запись, то мы увидим сложный блик, огибающая которого повторяет по форме характеристику записи.

Для удобства рекомендуется делать между записью отдельных частот паузы, во время которых вход усилителя закорачивается. Ширина блика на отдельных частотах может быть замерена с помощью циркуля и линейки. Относительные подъемы и завалы характеристики записи вычисляются как

$$20 \lg \frac{l_1}{l_2},$$

где l_1 и l_2 — соответствующие размеры блика в *мм* или *см*.

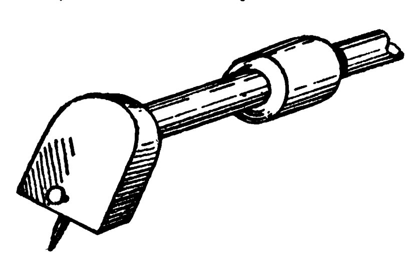
Надо иметь в виду, что характеристика рекордера зависит от свойств звуконосителя. Поэтому бликовую характеристику надо снимать и корректировать на том звуконосителе, на котором предполагается работать.

Чем шире блик, тем громче запись; поэтому по ширине получающегося блика можно также судить в момент самой записи о том, насколько правильно выбран уровень записи. Для граммпластинок промышленного изготовления максимальная ширина блика может достигать 50 *мм*, средняя 10—20 *мм*. Однако чаще предпочитают контролировать уровень записи по специальному указателю уровня — вольтметру переменного тока, ламповому или купроксному, включенному так, как показано на фиг. 21. Обратим внимание на то, что в такой схеме, где коррекция частотной характеристики на низких частотах осуществлена в выходной цепи, включение указателя уровня параллельно самому рекордеру не гарантирует нас от перерезания канавок. Дело в том, что, поддерживая по указателю некоторое среднее значение уровня на всех частотах, мы нарушаем основное требование — снижения амплитуды записи на низких частотах. В то же время при включении указателя так, как показано на фиг. 21, выполнение этого требования обеспечивается автоматически благодаря ограничительному действию цепи RC на низких частотах.

Мы рассмотрели принцип устройства электромагнитного рекордера. Тем, кто знаком с устройством электромагнитно-

го звукоснимателя, бросается в глаза сходство этих двух приборов. Действительно, принципиального отличия нет: рекордер лишь превращает электрические колебания в механические, в то время как звукосниматель — механические в электрические.

Существенное отличие имеется только в конструктивной части, поскольку рекордер должен развивать значительные механические усилия, особенно при записи на твердых материалах. Он снабжается более сильным постоянным магнитом, обмотка катушки делается более толстым проводом и рассчитывается на поглощение значительной электрической мощности. Подвижные детали выполняются более прочными.



Фиг. 22. Передвижной груз для регулирования глубины вырезаемой канавки.

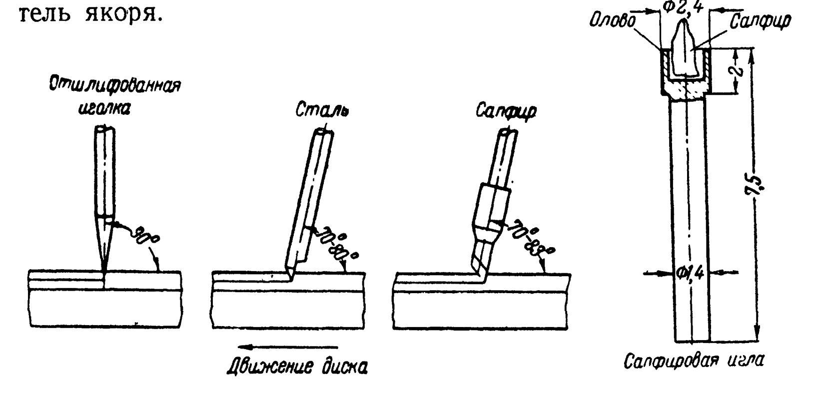
В любительской записи в большинстве случаев пользуются самодельными рекордерами. Их описание помещалось как в выпусках массовой библиотеки, так и на страницах журналов «Радио» и «Радиофронт». Единственный рекордер промышленного изготовления, который знаком любителям,—это рекордер от любительского «шоринофона». Его данные: потребляемая мощность от 2 до 5 *вт* (в зависимости от материала звукоснимателя). Число витков катушки — 180, провод — ПЭ 0,19. Активное сопротивление — 2—2,5 *ом*. Полоса записываемых частот 100—3 500 *гц*.

Как указывалось выше, на работу рекордера существенно влияет та нагрузка, которую он несет, выполняя работу по образованию звуковой канавки. Эта нагрузка будет различна при разных глубинах канавки. Поэтому важно с самого начала правильно установить ее величину. Регулируется она или изменением величины дополнительного груза, крепящегося к рекордеру, или передвижением этого груза по кронштейну, на котором крепится рекордер (фиг. 22). Так как глубина непосредственному измерению не поддается, о ней судят по ширине канавки. При нормально заточенном резце глубина примерно в два раза меньше ширины. Наблюдая через увеличительное стекло за канавкой во время записи паузы, необходимо так отрегулировать глубину погружения резца, чтобы ширина образуемой канавки была в полтора раза больше расстояния между краями соседних канавок.

Существенное влияние на качество записи имеет резец В профессиональных условиях применяют сапфировые резцы, в любительских — сапфировые и стальные. Последние имеют значительно меньший срок службы, обычно одного резца хватает только на запись двух сторон диска.

Кроме того, для выдавливания канавки используют стальные (граммофонные) и сапфировые иглы. Иглы имеют форму, показанную на фиг. 23.

Сапфировые резцы и иглы приклеиваются к якорю рекордера на шеллаке или заделываются в металлическую оправку, которая зажимается в держатель якоря.



Фиг. 23. Иглы для записи.

Угол наклона резца к поверхности звуконосителя устанавливается близким к 90°, а для иглы (при выдавливании) — около 70°.

Показателем надлежащего качества резца является хорошее отделение стружки, тихое шипение, сопровождающее этот процесс (без свиста), и блестящий блик на поверхности звуконосителя в местах, содержащих запись. Полезно также через увеличительное стекло рассмотреть стенки канавок; они должны быть гладкими, без рваных краев и изъянов.

Кроме рассмотренных электромагнитных иногда применяются и пьезоэлектрические рекордеры. В основе их действия лежит свойство ряда кристаллов механически колебаться с частотой подведенного к ним электрического напряжения. Если эти колебания передать резцу или игле, можно будет при помощи подобного устройства производить запись. Так как в рекордере механические усилия значительно больше, чем в пьезоэлектрическом звукоснимателе, кристалл рекордера весьма массивен, его суммарный объем до-

стигает 15—20 $см^3$. Обычно кристалл делают не сплошным, а склеивают из ряда пластин.

Интересной особенностью такого рекордера является почти полная независимость характеристики записи от материала звуконосителя, глубины канавки и т. д., так как его внутреннее механическое сопротивление очень велико. При поддержании постоянства напряжения на пластинках пьезоэлектрический рекордер создает на всех частотах одинаковую амплитуду записи. Для обеспечения требуемой характеристики записи пьезоэлектрический рекордер включают через сопротивление. В сочетании с емкостью кристалла это дает понижение напряжения на рекордере, а следовательно, и уменьшение амплитуды записи с частотой.

Опыта любительской работы с пьезоэлектрическими рекордерами еще не накоплено. При возможности достать массивные кристаллы сегнетовой соли можно рекомендовать произвести соответствующие эксперименты.

Если не включать последовательно с пьезоэлектрическим рекордером сопротивление, то запись будет произведена с постоянной амплитудой на всех частотах. Для акустического воспроизведения она не годится, так как акустическая отдача будет весьма неравномерной, резко возрастая в сторону средних и высоких частот. Однако такая запись представляет значительный интерес, если вести ее воспроизведение электрическим способом. В этом случае высокие частоты можно «завалить» в усилителе воспроизведения; при этом резко сокращается прослушиваемое шипение записи, спектр которого сосредоточен в основном в области высоких частот.

Устройство пеьзоэлектрического рекордера показано на фиг. 24.

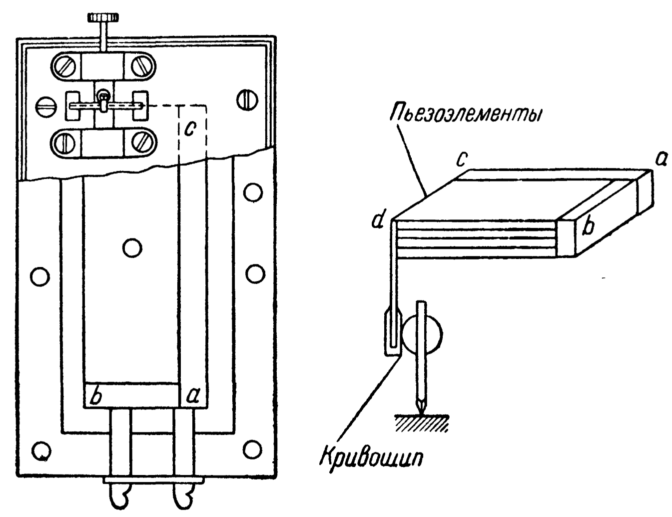
Переходим к вопросам электрического воспроизведения механической звукозаписи. Как указывалось, электрический звукосниматель преобразует механические колебания иглы в колебания электрические. Это преобразование может быть осуществлено различными способами: электромагнитным, пьезоэлектрическим, электродинамическим, электроемкостным и т. д.

Наибольшее распространение получили первые два способа: соответствующие им звукосниматели носят названия электромагнитного и пьезоэлектрического.

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к электрическим звукоснимателям. Первый показатель — это чувствительность звукоснимателя, т. е. та э. д. с., которую он развивает при воспроизведении записи, имеющей определен-

ную ширину светового блика. Поэтому условились под чувствительностью звукоснимателя понимать э. д. с., развиваемую им при воспроизведении записи со световым бликом шириной 1 *см*. Обычно указывается чувствительность на частоту 1 000 *гц*.

Звукосниматель, предназначенный для широкого пользования, должен обладать такой чувствительностью, чтобы при включении его на вход усилителя низкой частоты обычно-



Фиг. 24. Устройство пьезоэлектрического рекордера.

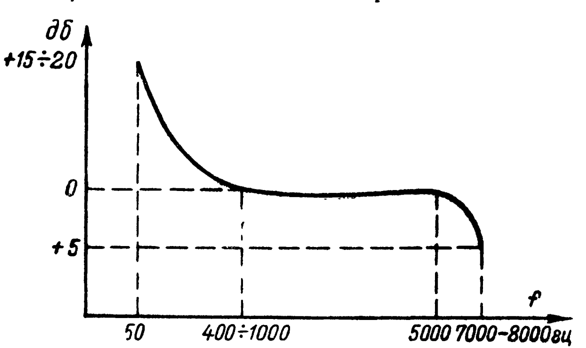
го вещательного приемника обеспечивалась достаточная громкость при воспроизведении граммпластинки.

Вторым важным показателем звукоснимателя является его частотная характеристика — зависимость чувствительности от частоты. Для того чтобы при воспроизведении были компенсированы те частотные искажения, которые были внесены при записи, нужно, чтобы характеристика звукоснимателя имела форму, обратную характеристике записи (фиг. 25).

Третье требование к звукоснимателям — это возможно меньший износ ими граммпластинки при воспроизведении. Дело в том, что игла, связанная со звукоснимателем, двигаясь по канавке записи, оказывает на ее стенки определенное давление: вертикальное за счет веса звукоснимателя и боковое за счет жесткости крепления якоря. Подсчет показывает, что благодаря малой площади опоры иглы в канавке эти давления иногда превосходят 1 $т/см^2$, что по ве-

личине приближается к давлению паровоза на рельсы. Естественно поэтому сокращать как вертикальное, так и боковое давление, если мы хотим избежать преждевременного износа записи. Как мы увидим далее, в электрических звукоснимателях это требование выполняется куда лучше, чем в акустических.

Устройство электромагнитного звукоснимателя аналогично показанному на фиг. 16. Колебания иглы и связанного с ней якоря вызывают изменение зазоров в магнитной цепи системы, вследствие чего в якоре появляется перемен-



Фиг. 25. Характеристика воспроизведения.

ный по силе и направлению магнитный поток. Изменения этого потока создают в катушке соответствующую э. д. с. По закону индукции эта э. д. с. будет тем больше, чем быстрее изменяется магнитный поток, а это в свою очередь определяется скоростью колебания якоря. За период одного колебания T якорь совершает путь, равный удвоенной амплитуде ($+a$ в одну сторону и $-a$ — в другую), следовательно, скорость его движения будет тем больше, чем больше амплитуда колебаний и меньше период (или больше частота), т. е. скорость пропорциональна произведению af. Поскольку здесь a соответствует амплитуде записи, а f — записанной частоте, мы можем сказать, что теоретически э. д. с., развиваемая электромагнитным звукоснимателем, пропорциональна ширине светового блика на записи.

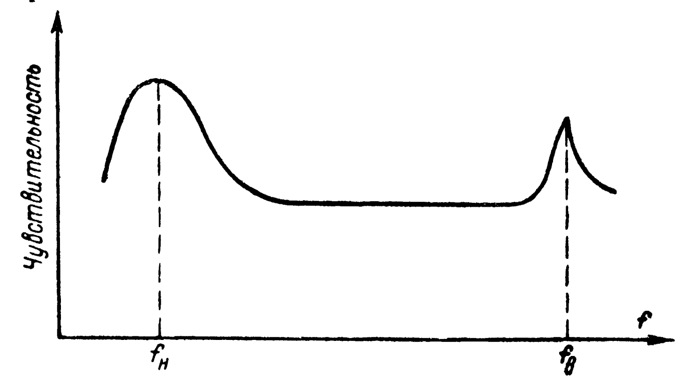
Поэтому на первый взгляд не удается скорректировать в звукоснимателе характеристику, подняв, например, его чувствительность на низких частотах, где запись ведется с меньшей шириной светового блика. Тем не менее это не так. Дело в том, что в механизме звукоснимателя наблюдаются резонансные явления. Обычно заметно выражены два резонанса: нижний (на низкой частоте) и верхний (на вы-

сокой частоте). Верхний обусловлен главным образом совместным действием массы якоря, гибкости его закрепления и гибкости иглы. Частота этого резонанса лежит обычно в области 4 000—5 000 *гц*. Применяя менее гибкую иглу, уменьшая массу якоря и увеличивая жесткость его запрещения, стараются повысить частоту верхнего резонанса. Имеющееся обычно увеличение чувствительности звукоснимателя на этой частоте нежелательно. Стремятся ее всячески ослабить, для чего в подвижную систему вносят дополнительное затухание путем усиления поля постоянного магнита, а также применением в креплении якоря демпфера, поглощающего часть энергии его колебания. При этом, однако, происходит общее понижение чувствительности. Можно подобрать такой материал для крепления якоря, что он будет сочетать в себе упругие свойства со свойствами демпфера. Таким материалом является, например, резина. Иногда крепление делают из двух частей: пружины, выполняющей роль упругости, и какого-либо материала с большой механической вязкостью, играющего роль демпфера.

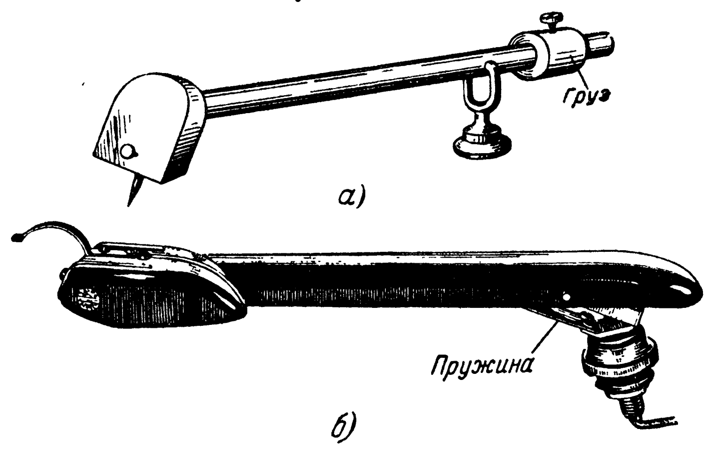
Нижний резонанс может быть использован как полезный фактор с целью подъема чувствительности на низких частотах. Если на высоких и средних частотах мы могли считать, что механические колебания передаются только якорю, не сообщаясь всей массе звукоснимателя в целом, которая остается поэтому неподвижной, то на низких частотах картина резко меняется. На этих частотах приходит в движение вся масса звукоснимателя вместе с держателем-рычагом для его крепления (тонармом). На некоторой частоте возникает механический резонанс между гибкостью крепления якоря и массой звукоснимателя. На частоте резонанса и на подходе к ней относительные колебания якоря в межполюсном пространстве возрастают благодаря одновременным колебаниям якоря и магнитной системы в противоположные стороны; чувствительность звукоснимателя увеличивается. В результате полная частотная характеристика электромагнитного звукоснимателя имеет вид, показанный на фиг. 26. Подбирая элементы конструкции, стараются приблизить ее по форме к желаемой характеристике воспроизведения (фиг. 25).

Однако наличие нижнего резонанса весьма неблагоприятно сказывается на износе записи. Дело в том, что боковое давление иглы звукоснимателя на канавку на частоте резонанса возрастает во столько же раз, во сколько увеличивается чувствительность. Здесь важную роль играет демпфер. Подбирая сорт резины или применяя специальный мате-

риал, например карамит, можно несколько снизить силу бокового давления иглы. Но все же даже в хороших образцах она достигает 10 *г* при наибольшем отклонении иглы, что примерно эквивалентно давлению 0,25 *т/см²*.



Фиг. 26. Частотная характеристика электромагнитного звукоснимателя.

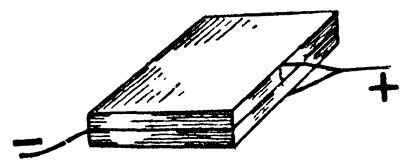


Фиг. 27. Регулировка давления иглы.
а — с помощью противовеса; *б* — с помощью пружины.

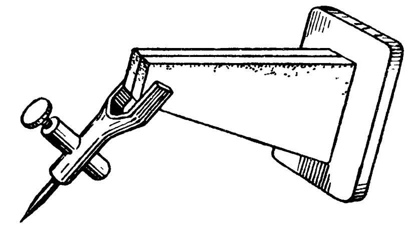
Боковая реакция иглы может привести к тому, что ее выбросит на ходу из канавки, если только этому не воспрепятствует достаточный вес звукоснимателя, приведенный к концу иглы. Чем больше боковое давление, тем тяжелее должен быть звукосниматель для того, чтобы игла следовала по всем извилинам канавки. Практика показывает, что вес звукоснимателя, приведенный к концу иглы, должен примерно в пять раз превосходить силу боковой реакции.

В существующих образцах электромагнитных звукоснимателей широкого потребления необходимая величина его колеблется примерно от 60 до 100 *г*. Так как собственный вес звукоснимателя часто больше, применяют противовес (фиг. 27,*а*) или специальную пружину (фиг. 27,*б*). Необходимую величину веса устанавливают, передвигая противовес или регулируя пружину.

Следует отметить, что наряду со звукоснимателями, выпускаемыми со специальными рычагами-держателями (тонармами), изготавливаются звукосниматели, рассчитанные на установку в обычных граммофонах вместо мембраны. У них исключена возможность производить указанную регулировку. Частотная характеристика их в области низких частот часто неудовлетворительна и нестабильна, так как в массу звукоснимателя, существенно влияющую на этих частотах, входит и масса держателя — величина, различная для различных граммофонов. Хорошие результаты получаются только при связи звукоснимателя и тонарма в одно конструктивное целое.



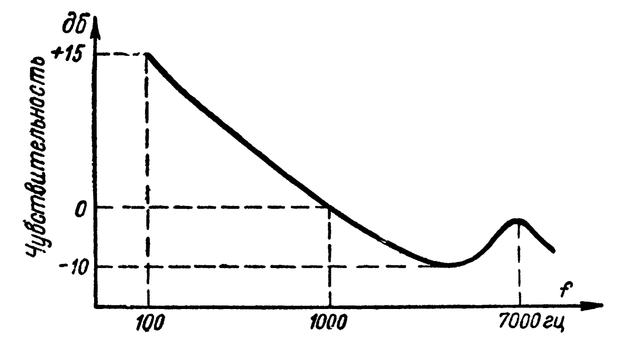
Фиг. 28. Биморфный пьезоэлемент.


Фиг. 29. Устройство пьезоэлектрического звукоснимателя.

Другой распространенной системой звукоснимателей является пьезоэлектрическая. Действие ее основано на явлении пьезоэффекта, свойственного некоторым кристаллам. Заключается оно в том, что при механической деформации кристаллов на их плоскостях возникают электрические заряды, пропорциональные по величине деформирующей силе. В звукоснимателях используются обычно две пластины, вырезанные определенным образом из большого кристалла и соединенные в одно целое. Такую пару пластин называют биморфным элементом (фиг. 28). Пластины в нем сложены сторонами одноименной поляризации и имеют два электрических вывода: от середины и от краев.

Применяются биморфные элементы, работающие на изгиб и на скручивание. Примерная конструкция звукоснимателя с элементом, работающим на изгиб, показана на

фиг. 29. Так как э. д. с., развиваемая пьезозвукоснимателем, пропорциональна деформирующей силе, т. е. в конечном счете амплитуде записи, то чувствительность его падает с возрастанием частоты. Примерный вид получаемой частотной характеристики приведен на фиг. 30. На участке от низких до средних частот характеристика приближается к той, которую мы стремимся получить. Далее, в сторону верхних частот падение чувствительности затормаживается благодаря приближению к частоте резонанса подвижной системы (6 000 — 7 000 *гц*). Используя этот резонанс, можно сконструировать звукосниматель, у которого и дальнейший



Фиг. 30. Частотная характеристика пьезоэлектрического звукоснимателя.

ход частотной характеристики от 1 000 до 5 000—6 000 *гц* будет близок к желательному. Резонансный же пик срезается в усилителе, для чего характеристика последнего должна иметь крутой спад, начиная с 5 000—6 000 *гц*. В противном случае в звучании может появиться неприятный «высящий» призвук. Кроме того, будет сильно слышен собственный шум звуконосителя (шипение пластинки).

Пьезозвукосниматель довольно критичен к выбору электрической нагрузки. Объясняется это тем, что его можно рассматривать как электрический генератор с внутренним сопротивлением, определяемым емкостью биморфного элемента. Это внутреннее сопротивление достаточно велико (так как емкость мала) и, кроме того, растет в сторону низких частот. Поэтому сопротивление нагрузки должно быть соответственно большим, иначе полезное напряжение, снимаемое с звукоснимателя, понизится на низких частотах.

Практически сопротивление нагрузки выбирают в пределах от 250 000 до 500 000 *ом*.

В общем частотная характеристика пьезоэлектрического звукоснимателя при условии правильного выбора схемы

усилителя может оцениваться как хорошая. Вес звукоснимателя, приведенный к концу иглы, невелик (обычно 75 — 80 *г*); поэтому износ им записи незначителен. Наконец, как на одно из больших преимуществ надо указать на весьма большую чувствительность звукоснимателей подобного типа. При воспроизведении промышленных граммпластинок они развивают на нагрузке 500 000 *ом* напряжение, достигающее 1,5 *в*.

Недостатки пьезозвукоснимателей является недостатками примененной в них сегнетовой соли. Удобная в технологическом отношении (кристаллы сегнетовой соли могут искусственно выращиваться до нужного размера и сравнительно легко обрабатываться) эта соль плавится при температуре около 63° Ц, хорошо растворяется в воде и механически непрочна. Поэтому звукосниматель этой системы надо тщательно оберегать от сырости, нагревания и механических ударов.

Крупным недостатком отдельных экземпляров пьезоэлектрических звукоснимателей являются вносимые ими заметные нелинейные искажения. Этим объясняется то, что, несмотря на хорошую частотную характеристику, они дают неудовлетворительное звучание.

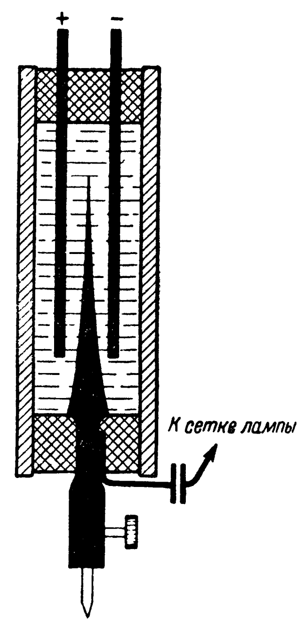
Наша промышленность выпускает звукосниматели нескольких типов. Описание их приведено в литературе, в том числе и в выпуске 86 «Массовой радиобиблиотеки» «Граммофонные звукосниматели» (авторы· А. К. Бектабегов и М. С. Жук). Ниже в табл. 2 приводятся основные технические данные некоторых образцов.

Таблица 2

Тип	Система	Полоса частот, *гц*	Чувствительность *в/см*, блика	Вес, *г*	Нагрузка, *ом*
АЭМ-3	Электромагнитная	50—5 000	0,2	90	Не менее 50 000
3-94	То же	75—5 500	0,2	60	50 000
ПЗП	Пьезоэлектрическая	50—6 000	1,0	75	250 000—500 000

В качестве примера других систем звукоснимателей укажем на так называемый жидкостный звукосниматель. Принцип устройства его показан на фиг. 31. В стеклянной трубке, плотно закрытой с двух сторон резиновыми пробками, находятся два неподвижных и один подвижный электрод. Последний механически и электрически соединен с якорем,

свободно проходящим сквозь пробку, так что при этом, однако, не нарушается уплотнение. Наружный конец якоря снабжен держателем иглы. Трубка заполнена грушевой эссенцией. К неподвижным электродам подводится строго постоянное напряжение порядка 200 *в*. При этих условиях потенциал подвижного электрода будет определяться его положением между неподвижными пластинами. Колебания электрода в процессе воспроизведения записи вызовут такие же колебания величины его потенциала. Эти колебания можно далее усилить обычным способом.



Фиг. 31. Устройство жидкостного звукоснимателя.

Жидкостный звукосниматель, как мы видим, необычайно прост и, кроме того, развивает большое полезное напряжение. Поэтому радиолюбителям будет небезынтересно поэкспериментировать с ним.

В 1937 г. жидкостный звукосниматель был представлен на Третью Всесоюзную заочную выставку радиолюбительского творчества В. М. Косолаповым и показал хорошие результаты. Подробнее он описан в журнале «Радиофронт», № 24, 1937 г.

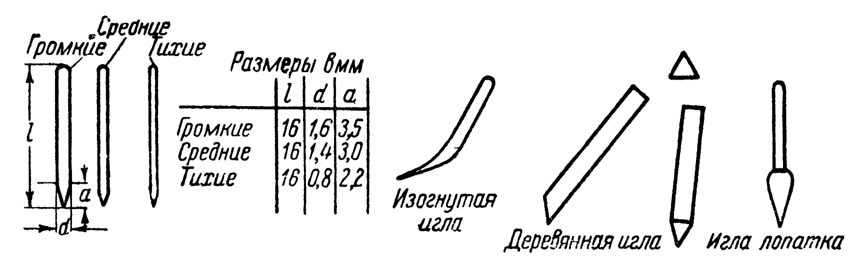
На качество работы звукоснимателя сильно влияет игла, поэтому к выбору ее следует отнестись весьма внимательно. Наибольшее распространение получили стальные иглы трех видов: громкие, средние и тихие. Отличаются они главным образом диаметром незаостренной части и, как следствие этого, разной гибкостью (фиг. 32). Наиболее гибкая — тихая игла. Определения громкая, тихая характеризуют собой громкость, получаемую с данной иглой при акустическом воспроизведении. Чем игла гибче, тем меньше энергии передается через нее к звукоснимателю и тем тише звук. Для электрического воспроизведения эти названия, естественно, теряют смысл, так как там громкость определяется электрическим усилением.

Существуют и так называемые универсальные иглы, например, игла-лопатка; в зависимости от установки ее плоской части по направлению канавки или перпендикулярно

к нему мы получим бо́льшую или меньшую гибкость иглы со всеми вытекающими последствиями.

Игла влияет также и на износ записи. Чем она менее гибка, тем больше при прочих равных условиях износ звуконосителя при воспроизведении. Поэтому при электрическом воспроизведении лучше брать «тихую» иглу, при которой износ записи меньше.

Различна при разных иглах и частотная характеристика воспроизведения на высоких частотах. Более гибкие иглы хуже передают высокочастотные звуковые колебания. Правда, при электрическом вопроизведении и этот недостаток может быть компенсирован при наличии в усилителе регулятора тембра. Напомним, что гибкость иглы влияет и на положение частоты верхнего резонанса в электрических



Размеры в мм	l	d	a
Громкие	16	1,6	3,5
Средние	16	1,4	3,0
Тихие	16	0,8	2,2

Фиг. 32. Иглы для воспроизведения.

звукоснимателях. Все эти зависимости необходимо учитывать для того, чтобы правильно оценивать качество воспроизведения и найти пути его улучшения в зависимости от конкретных условий. Так как игла намного дешевле звуконосителя, не говоря уже о ценности сделанной на нем записи, то твердость ее выбирают так, чтобы больше изнашивалась игла, а не запись. При воспроизведении шеллачных граммофонных пластинок износ иглы настолько велик, что не позволяет воспроизвести без искажений более двух сторон. Благодаря трению о стенки канавок (происходящем к тому же при весьма большом давлении) кончик иглы притупляется, теряя свою первоначальную закругленную форму. Следствием этого становится худшее вопроизведение высоких частот в записи, так как затупленный конец иглы не в состоянии «прочесть» мелкие извилины звуковой канавки, получающиеся на этих частотах. Увеличиваются и нелинейные искажения ввиду возрастания неогибания, рассмотренного нами ренее. Ухудшение качества воспроизведния из-за износа иглы усугубляется еще тем, что в боль-

шинстве случаев запись производится от края к центру граммпластинки. При приближении к центру линейная скорость движения звуконосителя уменьшается, извилины звуковой канавки становятся все мельче и все более трудно проходимыми. Следовательно, складываются оба неблагоприятных фактора: увеличение кривизны извилин канавки и притупление иглы.

Более благоприятной была бы запись от центра к краю пластинки, так как в этом случае затупившаяся игла встречала бы у края легкий для прохождения рельеф канавки.

Многие любительские установки построены именно таким образом: запись производится от центра к краю. Надо сказать, что при этом улучшается и процесс записи—проще убирается стружка, которая сматывается к центру. В граммофонных пластинках промышленного изготовления этот способ записи не нашел, однако, применения главным образом из-за более тяжелого режима для пружинного двигателя, который повсеместно используется в портативных граммофонах. При записи от центра, к краю, по мере того как пружина ослабевает, нагрузка на нее растет. Это может вызвать заметное на слух уменьшение скорости вращения пластинки. Интересно отметить, что ухудшение воспроизведения высоких частот при износе иглы имеет свою положительную сторону: уменьшается прослушиваемый шум звуконосителя, спектр частот которого имеет хорошо слышимые составляющие, как раз на высоких частотах (5 000—7 000 *гц*). Каждый из собственной практики знает, что в начале пластинки шум больше, чем в середине или конце. В таких случаях говорят, что игла пришлифовалась. В действительности происходит ее затупление и она перестает реагировать на мелкие шероховатости канавки, создающие высокочастотные составляющие шумы.

На практике часто проводят «пришлифовку» новой иглы на первых канавках какой-либо старой пластинки. Этим снижается шум с самого начала проигрываемой пластинки, и, кроме того, уменьшается ее износ, так как давление тупой иглы меньше, чем острой. Понятно, что после шлифовки иглу ни в коем случае нельзя поворачивать в держателе.

Для воспроизведения записей, сделанных на более мягких материалах (например, на целлулоиде), используют как шлифованные описанным выше способом, так и специальные изогнутые стальные иглы и деревянные иглы. Изогнутые иглы (фиг. 32) уменьшают угол наклона рабочей части иглы к пластинке до 50—60°, чем ослабляют давление на нее, а следовательно, износ пластинки. Еще меньше износ

при деревянных иглах, вырезаемых из бамбука. Эти иглы не годятся для акустического воспроизведения, так как дают очень малую громкость и применяются только при электрическом воспроизведении. Недостаток их — плохое воспроизведение высоких частот.

В заключение укажем на так называемые «постоянные» иглы, обычно изготавливаемые из заточенных кусочков сапфира. Такие иглы очень медленно изнашиваются и благодаря этому долговечны. Надо, однако, помнить, что твердая игла всегда больше изнашивает пластинку, поэтому сапфировые иглы можно применять только в специальных легких электрических звукоснимателях.

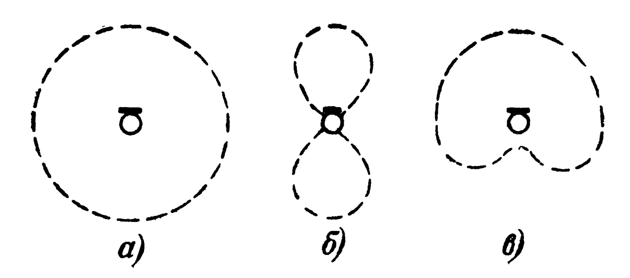
ПРОИЗВОДСТВО ГРАММОФОННЫХ ПЛАСТИНОК

Промышленное производство граммофонных пластинок начинается с записи. Различают оригинальные (так называемые «живые») записи — непосредственные записи звуков с микрофона — и перезаписи, т. е. перенесение на граммофонную пластинку звуковых картин, зафиксированных ранее тем или иным способом. Так, например, перезаписываются уникальные сохранившиеся с давних лет граммпластинки. Производственный процесс протекает в обоих случаях несколько различно.

При «живых» записях исполнители располагаются в специально оборудованном помещении — студии записи. К студии предъявляются два основных требования: хорошая звукоизоляция от внешних шумов и надлежащая акустическая обработка помещения. Первое достигается устройством двойных стен, плотно прилегающих дверей и тамбуров, занавешиванием оконных проемов тяжелыми портьерами и тому подобными мерами. Второе — покрытием стен, пола и потолка различными звукопоглощающими материалами — специальной штукатуркой, деревянной облицовкой, коврами.

При записи или радиопередаче из акустически необработанного помещения звучание получается или очень гулкое, настолько, что снижается разборчивость речи, или, наоборот, слишком глухое, бочкообразное. Подбирая в студии сочетание различных звукопоглощающих материалов, добиваются наилучшего звучания и отсутствия указанных дефектов. В студии устанавливается несколько микрофонов в зависимости от числа исполнителей и характера записи. Так, например, при записи одного исполнителя — чтеца нужен один микрофон, а при записи симфонического оркестра с хором и солистами число микрофонов доходит до восьми.

В звукозаписи применяют главным образом электродинамические микрофоны — катушечного и ленточного типа иногда комбинированные, реже конденсаторные микрофоны; не используются угольные из-за присущего им низкого качества звукопередачи. Кроме того, за последнее время в любительской практике и в аппаратуре полупрофессионального назначения начали применяться пьезоэлектрические микрофоны. Обладая значительно большей чувствительностью и удовлетворительными частотными свойствами, эти микрофо-



Фиг. 33. Характеристики направленности микрофонов.
а — ненаправленный; *б* — двунаправленный; *в* — однонаправленный.

ны, к сожалению, не свободны от недостатков, общих пока всей пьезоэлектрической аппаратуре, построенной на кристаллах сегнетовой соли.

Важным качественным показателем микрофона является его характеристика направленности, т. е. зависимость чувствительности от направления, по которому приходит к микрофону звук. По виду характеристик направленности различают три типа микрофонов: однонаправленные, двунаправленные и ненаправленные; характеристики направленности для всех трех типов приведены на фиг. 33.

Выбор микрофона, имеющего ту или иную характеристику направленности, определяется характером записи, а также студийными условиями. Так, например, при записи беседы 3—4 чел. нужен ненаправленный микрофон, который располагается в центре группы исполнителей.

Направленными микрофонами пользуются для того, чтобы усилить восприятия звуков, того или иного исполнителя (или группы их). Например, при записи оркестра важно хорошо передать звучание скрипок, слабо звучащих сравнительно с другими инструментами оркестра. Для этого перед дирижером устанавливают двунаправленный микрофон, который улавливает главным образом звуки, приходящие справа и слева, т. е. оттуда, где находятся исполнители — скрипачи.

Направленные микрофоны менее восприимчивы к различным помехам, а также и к отраженным от стен студии звуковым волнам. Поэтому звучание записи, сделанной на направленном микрофоне, будет менее «гулким», чем при ненаправленном.

Таким образом, звукорежиссер, производящий запись, должен определить число микрофонов, характер их направленности и, наконец, их расположение.

На основании опыта предыдущей работы, а также во время репетиций находится наилучший вариант.

Но мало выбрать и расставить микрофоны. Надо правильно ими управлять во время записи. В чем же должно заключаться это управление? Из предыдущего мы знаем, что в настоящее время практически невозможно получить при любой системе звукозаписи выполнение условий идеальной звукопередачи. В любом случае при воспроизведении записи звучание будет отличаться от натурального. Тем не менее можно так составить эту искаженную звуковую картину, чтобы она в нашем представлении вызывала впечатление натурального звучания. Короче говоря, искаженное, неестественное звучание должно нам казаться натуральным, естественным. Это заключение парадоксально только на первый взгляд, так как очень часто мы примиряемся с рядом условностей. Присутствуя в театральном зале, мы не замечаем, как на расстоянии нескольких метров от сцены, где, например, идет снег или показывается восход солнца, расположены ложи, партер и сотни зрителей. Мы мысленно отбрасываем в этом случае всю неестественность происходящего.

Для того чтобы при воспроизведении звукозаписи у нас создалось впечатление натурального звучания, нужен большой художественный вкус звукорежиссера, управляющего записью. Он пропорционально смешивает колебания, поступающие от отдельных микрофонов, стараясь передать слушателю замысел композитора или автора постановки.

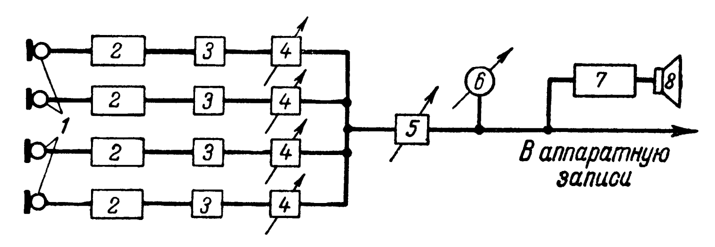
Для граммофонной пластинки максимальный динамический диапазон, могущий быть записанным, не превышает 35—40 *дб*. Поэтому звукорежиссер должен сокращать натуральный диапазон, ослабляя наиболее громкие и усиливая наиболее тихие места в записи.

Звукорежиссер имеет возможность при помощи контрольного громкоговорителя прослушивать программу, подаваемую на запись.

Все управление записью производится им с помощью ряда приборов, сосредоточенных на пульте. Это — в первую

очередь регуляторы усиления, корректоры частотной характеристики и указатель уровня. Примерная схема пульта управления показана на фиг. 34.

Пульт управления располагается в особой комнате — фонической (от слова фон — звук). Эта комната обычно при-



Фиг. 34. Блок-схема пульта управления.

1 — микрофоны; *2* — микрофонные усилители; *3* — тонкорректоры; *4* — индивидуальные регуляторы уровня; *5* — общий регулятор уровня; *6* — указатель уровня; *7* — контрольный усилитель *8* — контрольный громкоговоритель.

мыкает к студии записи и связана с ней смотровым окном. Из фонической усиленные колебания звуковой частоты поступают в аппаратную записи. Студия, фоническая и аппаратная — три рабочих места, где осуществляется совместная работа по записи. Для согласования действия все эти рабочие места связаны между собой сигнализацией и громкоговорящей связью.

В аппаратной установлено несколько станков записи и такое же количество усилителей. Это обычные усилители с довольно узкой полосой пропускаемых частот (до 8 000 ÷ 10 000 *гц*), мощностью от 10 до 50 *вт*. Такая большая мощность объясняется тем, что рекордеры, применяющиеся в профессиональной звукозаписи, имеют весьма небольшой к. п. д., так как за счет его снижения удается значительно повысить качество.

Станки, используемые при записи для граммпластинок, в принципе сходны с другими станками для механической звукозаписи на диск. Отличительной особенностью их является массивность конструкции и высокая точность изготовления отдельных деталей (фиг. 35).

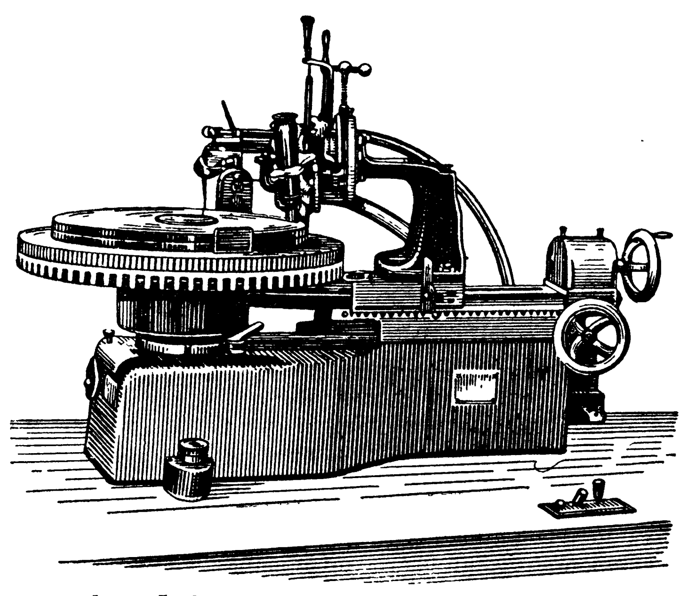
У нас в Советском Союзе производятся граммпластинки только на одну скорость — 78 об/мин. В зависимости от длительности записи выбирают один из трех шагов записи — уширенный, нормальный и уплотненный (см. табл. 3). Переход с одного шага на другой производится переключением коробки скоростей смещения на станке записи.

Таблица 3

Шаг записи, *мк*	Плотность записи (число канавок на 1 *см*)	Длительность звучания	
		Диаметр пластинки 25 *см*	Диаметр пластинки 30 *см*
Уширенный 302	33	2 мин. 45 сек.	3 мин. 49 сек.
Нормальный 264	38	3 мин. 9 сек.	4 мин. 22 сек.
Уплотненный 239	42	3 мин. 30 сек.	4 мин. 50 сек.

Запись обычно ведут на восковых дисках. Их изготовление (отливка, обточка, шлифовка) производится в специальном восковарочном отделении.

Запись начинается по команде звукорежиссера. Первые три канавки не содержат записи, отчего они носят название



Фиг. 35. Станок записи для граммпластинок.

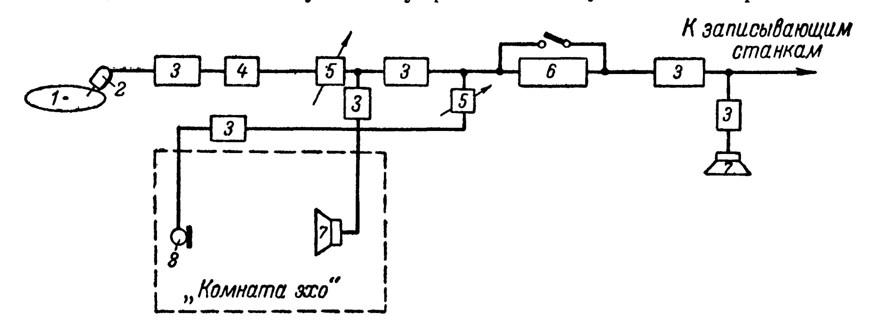
«немых». Такие же «немые» канавки делают и в конце записи; они переходят в выводную спираль, заканчивающуюся концентрической канавкой. На эту канавку сходит игла звукоснимателя в конце воспроизведения.

√Для образования выводной спирали звукооператор в конце записи, вращая рукой специальный штурвал станка, ускоряет смещение рекордера. При определенном диаметре спирали сцепление каретки рекордера со смещающим меха-

низмом автоматически выключается и резец нарезает концентрическую канавку.

Запись ведут одновременно на трех станках. Один восковой диск используется как контрольный. Если его прослушивание показало, что запись доброкачественна, два остальных диска направляются в дальнейшую обработку. В противном случае запись повторяют.

Несколько иначе протекает перезапись, так как здесь не нужна студия. Звукорежиссер находится в самой аппаратной за небольшим пультом управления. Путем многократных

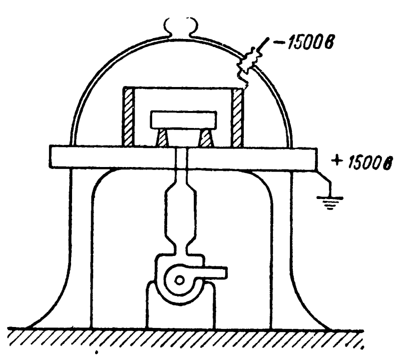


Фиг. 36. Схема перезаписи с включением „комнаты эхо".

1 — перезаписываемая пластинка; 2 — звукосниматель; 3 — усилители; 4 — тонкорректор; 5 — регуляторы уровня; 6 — шумоподавитель; 7 — громкоговорители; 8 — микрофон.

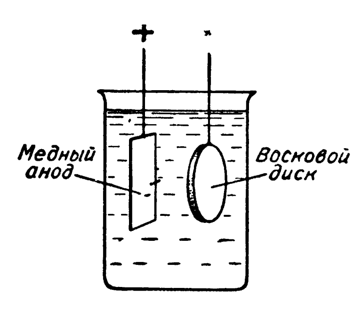
прослушиваний он подбирает на пульте форму частотной коррекции и режим специальных шумоподавляющих устройств, добиваясь наиболее благоприятного звучания. Это— длительная и кропотливая работа, так как обычно перезаписываются старые записи невысокого качества и к тому же часто изношенные. Перезапись ведут и с граммпластинок, и с кинопленки, и с магнитной ленты. В последнем случае качество наиболее высоко. Иногда для улучшения звучания «глухих» записей прибегают к специальной «комнате эхо», представляющей собой небольшую звукоизолированную комнату, в которой расположены громкоговоритель и микрофон. Через громкоговоритель воспроизводится запись, требующая улучшения. Благодаря тому, что микрофон воспринимает не только прямые, идущие от громкоговорителя, но и отраженные от стен комнаты звуковые волны, он передает ту же запись, но звучащую более гулко, так, как будто она сделана в большом пустом зале. Звукорежиссер с помощью пульта управления «подмешивает» это гулкое звучание к основному, добиваясь наилучшего соотношения. Схема перезаписи с использованием комнаты эхо приведена на фиг. 36.

Когда звукорежиссер закончил всю подготовительную работу, по его сигналу и в этом случае включают три станка и производят перезапись. Точно так же один воск прослушивается, а два другие идут в дальнейшее производство (один — основной, другой — резервный, на случай порчи первого).



Фиг. 37. Камера катодного распылителя.

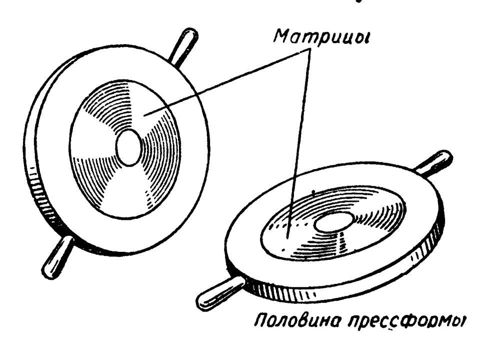
Из аппаратной восковые диски с записью направляются в отделение металлизации. Там их помещают в особый аппарат, называемый камерой катодного распыления (фиг. 37). Воск в камере кладется на изолированные подставки, стоящие на нижней металлической плите. Над воском также на изолированных подставках помещается диск из золота. Сверху все это закрывается стеклянным колпаком, из-под которого выкачивается воздух. После этого к камере подводится высокое напряжение, порядка 1 500 *в*. Положительный полюс соединяется с нижней плитой, отрицательный — с золотым диском. В электрическом поле, образующемся между диском и плитой, происходит ионизация остатков газов. При этом тяжелые положительные ионы бомбардируют отрицательно заряженный золотой диск, выбивая из него мельчайшие частицы. Последние оседают на поверхности воска, покрывая ее тонким слоем золота. Процесс металлизации длится 10—15 мин., после чего высокое напряжение отключается, под колпак впускается воздух и воск вынимают из камеры. Поверхность его становится электропроводящей и пригодной для снятия гальванопластическим способом металлической копии.



Фиг. 38. Электролитическая ванна.

Эта операция производится в гальванном отделении. Воск помещают в электролитическую ванну с раствором медного купороса и с медным анодом (фиг. 38). К поверхности воска

и к медному аноду подсоединяют постоянное напряжение, в результате чего в ванне начинается электролиз. Частицы меди оседают на золоченой поверхности воска, образуя со временем достаточно толстый медный диск, который можно легко отделить от воска. Это так называемый первый оригинал записи. Рельеф поверхности его обратен рельефу воскового диска: вместо канавок здесь имеются соответствующие выступы. Первый оригинал обычно сохраняют и не используют для производства граммпластинок. С него таким же путем снимают металлическую копию — второй оригинал, со второго — третий и т. д. Нетрудно видеть, что четные номера оригиналов будут иметь тот же рельеф поверхности, что и исходная запись на воске.



Фиг. 39. Прессформа для прессования граммофонных пластинок.

Для прессования граммпластинок годны, очевидно, нечетные номера, так как правильный рельеф требуется получить на самой пластинке. Первый и третий оригиналы хранятся, в массовом же производстве используется обычно пятый оригинал. Для придания поверхности меди большей твердости ее хромируют.

Полученная матрица передается в прессовальное отделение. Здесь ее заряжают в прессформу (фиг. 39), состоящую из двух половинок. Обе они тем или иным путем нагреваются до температуры порядка 150° С, между ними закладывается определенное количество размягченной пластмассы и с помощью пресса производится прессование пластинки. Одновременно прессформа охлаждается. После того как прессование закончилось и прессформа остыла, ее вынимают из-под пресса, открывают и снимают готовую граммпластинку.

Первые пробные пластинки прослушиваются обычно художественно-техническим советом, дающим разрешение на массовое тиражирование.

Большое значение для качества пластинок имеет та масса, из которой они прессуются. К ней предъявляются следующие основные требования: 1) масса должна хорошо прессоваться; 2) получающаяся граммпластинка должна

быть износоустойчивой, безболезненно выдерживая огромные давления со стороны иглы звукоснимателя; 3) при длительном хранении граммпластинка не должна деформироваться (например, коробиться); 4) стенки канавок пластинки должны быть возможно более гладкими, чтобы не создавать шума при воспроизведении; 5) изготовление массы должно быть удобно в производственном отношении, ее стоимость — невысокой; масса не должна содержать дефицитных составляющих.

Все эти требования одновременно удовлетворить очень сложно. Есть массы хорошие по одним показателям и посредственные по другим.

До недавнего времени большинство граммпластинок широкого пользования делалось из так называемой шеллачной массы. Главной составляющей ее был шеллак — натуральная смола, являющаяся продуктом жизнедеятельности особых насекомых, облепляющих некоторые тропические растения. Кроме того, в массу входили наполнители (мел), красители (сажа) и другие компоненты.

Шеллачная масса в основном удовлетворяет перечисленным требованиям за исключением двух последних—шеллак как сырье дефицитен и шум шеллачной пластинки довольно велик.

В настоящее время выпускаются хлорвинилпековые граммпластинки, мало отличаясь как по внешнему виду, так и по качеству от шеллачных; эти пластинки изготовляются из весьма доступного сырья (пек — продукт переработки дегтя).

Перспективными являются так называемые винилитовые пластинки, изготавливаемые из искусственной (винилитовой) смолы. Они не бьются, имеют красивый коричневый цвет, но главное их достоинство — это почти полная бесшумность. Правда, по износоустойчивости они уступают шеллачным пластинкам, однако при условии воспроизведения легким электрическим звукоснимателем они оказываются вполне приемлемыми и в этом отношении.

В заключение следует обратить внимание на то, что качество звучания граммпластинок во многом зависит и от правильной их эксплоатации.

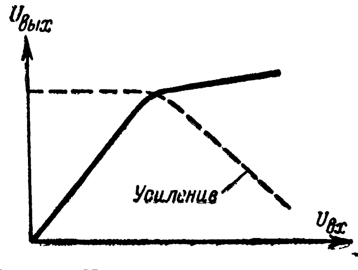
Хранение пластинок должно производиться в специальных конвертах, в месте, защищенном от пыли и солнечного света, с нормальной температурой и влажностью воздуха.

Перед проигрыванием пластинку рекомендуется протереть фланелевой тряпочкой. Установка для воспроизведения должна быть правильно выполнена и находиться в полной исправности.

Граммофонные иглы лучше предварительно просмотреть через увеличительное стекло и отбраковать те из них, у которых кончик затуплен или имеет неправильную форму.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИЕМЫ В МЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ЗВУКА

Одна из серьезных задач механической звукозаписи — это борьба с шумами. Особенно это касается граммофонных пластинок, шум на которых обычно больше, чем на пластинках прямого воспроизведения. Не говоря уже о неприятном раздражении слуха, которое вызывается шумом, он заставляет сокращать записываемый динамический диапазон звучания до 30—35 *дб*.



Фиг. 40. Характеристика компрессора.

Рассмотрим некоторые способы борьбы с шумами, основанные на мероприятиях схемного характера — специальном выборе электрических схем при записи и воспроизведении.

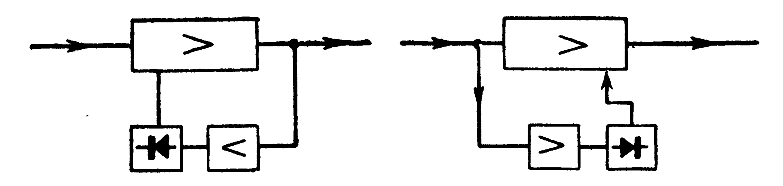
Первый способ — автоматическое сжимание динамического диапазона на записи — компрессирование и его расширение при воспроизведении — экспандирование. При этом способе в канал записи вводят особый усилитель, именуемый компрессором, усиление которого изменяется в зависимости от величины амплитуды входного напряжения. Зависимость эта графически изображена на фиг. 40. Как видно, более слабые сигналы усиливаются больше, чем сильные, что приводит к относительному повышению среднего уровня сигнала на выходе компрессора по сравнению со входом и к сжатию динамического диапазона. В результате вся запись становится в среднем более громкой и уровень ее лучше перекрывает уровень собственного шума звуконосителя.

Можно усмотреть аналогию в действии компрессора и звукорежиссера, сидящего за пультом регулирования уровня; только компрессор выполняет эту работу автоматически. Очень важно, что повышается только средний уровень записи, а максимальный остается неизменным, иначе возникла бы опасность перерезания соседних канавок.

Запись, сделанная с помощью компрессора, будет звучать слишком «плоско», в ней не будет привычного для слу-

ха диапазона между тихими и громкими звуками. Чтобы вернуть ей при воспроизведении прежнюю натуральность, применяют экспандерное устройство, обратное по действию компрессору.

Экспандер включается в канал воспроизведения и представляет собой усилитель, коэффициент усиления которого меняется по закону, обратному сравнительно с компрессором. Благодаря этому восстанавливается первоначальный динамический диапазон. В компрессорах и экспандерах используется тот же принцип регулировки усиления, что и в радиоприемниках. В качестве усилительных ламп применяют лампы с переменной крутизной (например, типа 6К7), у ко-



Фиг. 41. Блок-схемы компрессора и экспандера.

торых смещение на управляющую сетку создается за счет выпрямления входного или выходного переменного напряжения. В зависимости от включения это смещение растет или падает с увеличением входного напряжения; соответственно мы получаем характеристику экспандирования или компрессирования. На фиг. 41 приведены блок-схемы экспандера и компрессора.

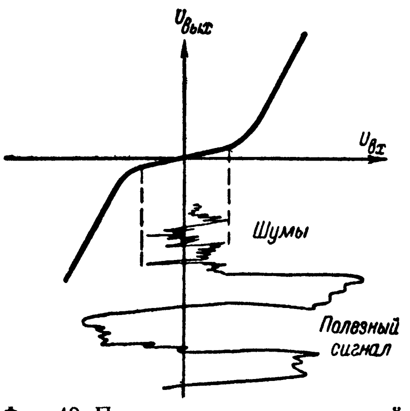
Так как компрессирование имеет смысл только при условии электрического воспроизведения, а последнее пока еще не является преобладающим, в промышленной звукозаписи используют вместо автоматической ручную регулировку уровня записи. Динамический диапазон сжимается в этом случае меньше, и запись получается более художественной. Применение экспандера при воспроизведении промышленных граммпластинок вызывает неестественность звучания как результат несогласованности ручной и автоматической регулировок.

Описанный способ борьбы с шумами в записи можно применять для любительских записей. При этом путем несложных переключений одно и то же устройство можно использовать и как компрессор при записи и как экспандер при воспроизведении.

Другой способ состоит в применении при воспроизведении специальных шумоподавителей. Принцип их действия

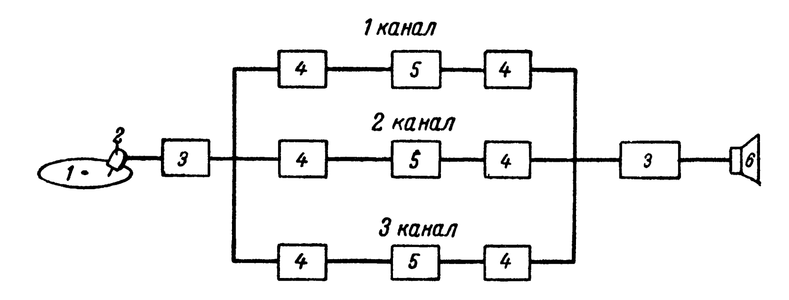
различен у разных схем, некоторые из которых мы рассмотрим.

Слушая граммпластинку, нетрудно заметить, что шум особенно отчетливо слышен в паузах основного звучания. Музыка или речь маскирует этот шум, делает его менее заметным. Шум в паузах можно уменьшить, включив в тракт воспроизведения устройство с характеристикой, показанной на фиг. 42.



Фиг. 42. Подавление шумов нелинейным сопротивлением.

Так как напряжение, развиваемое в канале воспроизведения от шума пластинки, сравнительно невелико, оно будет усиливаться сравнительно слабо (в начале характеристика имеет пологий участок). Полезное же напряжение имеет достаточную величину и будет передано через устройство хорошо (здесь характеристика имеет большую крутизну). Благодаря этому соотношение $\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}$ возрастет. Характеристику, подобную приведенной, имеют многие нелиней-

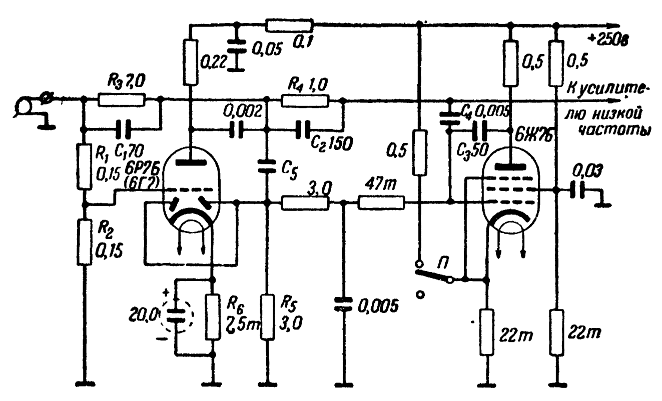


Фиг. 43. Блок-схема шумоподавителя.

1 — пластинка; 2 — звукосниматель; 3 — усилители; 4 — фильтры; 5 — нелинейные элементы; 6 — громкоговоритель.

ные элементы, например купроксные или селеновые выпрямители. Однако непосредственное включение их в канал вызвало бы появление больших нелинейных искажений звука. Поэтому на практике используют более сложную схему, показанную на фиг. 43.

Весь диапазон воспроизводимых частот разбивается на ряд полос, по числу которых в схеме включаются параллельные каналы 1-й, 2-й, 3-й и т. д. Благодаря наличию входных фильтров, пропускающих каждый свою полосу, сигнал любой частоты, приходящий от предварительного усилителя, поступает только в один канал. Полосы пропускания фильтров рассчитаны так, что соотношения между максимальной и минимальной пропускаемой частотой меньше двух; например, у первого фильтра 100—180 *гц*, у второго 180 — 300 *гц*, у третьего 300—500 *гц* и т. д. После входного фильтра в каждом канале включено шумопонижающее устройст-



Фиг. 44. Принципиальная схема шумоподавителя.

во с характеристикой, подобной рассмотренной выше. Возникающие гармоники основной частоты будут задержаны выходным фильтром, имеющим ту же полосу пропускания, что и входной. Таким образом, сохраняя шумопонижающее (в паузах) свойство, схема не вносит заметных нелинейных искажений.

Действие другой схемы шумопонижения основано на том, что частотный спектр собственного шума граммпластинки наиболее интенсивен в области высоких звуковых частот (5 000—7 000 *гц*). Это знакомо тем, кто прослушивает пластинки через усилитель с регулируемой частотной характеристикой. Если «срезать» высокие частоты, шипение пластинки заметно уменьшится. Поэтому, если бы удалось изменять автоматически частотную характеристику, срезая высокие частоты в паузах и в моменты тихого звучания записи, мы получили бы эффект снижения прослушиваемых шумов. Такая автоматическая регулировка и осуществлена в схеме, показанной на фиг. 44. К выходу первой ступени

усиления подключена входная емкость лампы регулятора. Известно, что эта емкость меняется в зависимости от коэффициента усиления лампы. Смещение на управляющую сетку лампы регулятора подается от диодного детектора, выпрямляющего переменное напряжение после первой ступени усиления. Таким образом, чем полезное напряжение на входе меньше, тем меньше смещение на лампе регулятора, больше ее входная емкость и, как следствие этого, больше завал частотной характеристики на высоких частотах. Эта же схема иногда используется в ином режиме. Напряжение на диодный детектор подается через небольшую емкость. Поэтому запирание лампы регулятора и установление полной полосы пропускания усилителя происходят не просто при сильном сигнале, а при наличии в нем интенсивной составляющей высокой звуковой частоты. Те места записи, где эти частоты достаточно сильно выражены, усилитель пропустит без искажений, все остальное время, и в частности в паузах, полоса пропускания усилителя будет сокращена.

Не менее важная и интересная задача, чем шумопонижение, заключается в увеличении длительности записи, сделанной на диске.

Как мы видели, диск наиболее удобен для широкого пользования, поэтому желательно именно на нем добиться длительной записи. Переход на другую форму звуконосителя, например бесконечную ленту, решил бы задачу, но эта и любая другая форма неудобны для указанных целей.

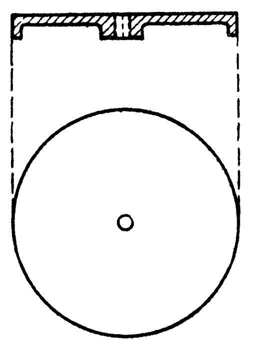
Как же увеличить время записи, а следовательно, и время звучания одной стороны диска?

За последнее время получают распространение так называемые долгозвучащие записи с микробороздами. В них по сравнению с обычными шаг записи сокращен в два-три раза, будучи равен примерно 100 *мк*. Соответственно уменьшены ширина и глубина канавок. Благодаря этому на диске диаметром 30 *см* при скорости вращения 33 $^{1}/_{3}$ об/мин умещается запись длительностью до 30 мин. Воспроизведение таких записей возможно только электрическим путем. Благодаря трехкратному сокращению амплитуды записи громкость при акустическом воспроизведении была бы явно недостаточной. Кроме того, требуется очень легкий малоизнашивающий запись звукосниматель. Этому требованию может удовлетворить только специальный электрический звукосниматель. Удается изготовить звукосниматели с весом, приведенным к концу иглы порядка всего лишь 5 *г*. Для записи с микробороздкой нужны также и более острые иглы

с радиусом закругления в три раза меньше обычного. В связи с сокращением амплитуды записи особо остро стоит вопрос об уменьшении шума, вызванного негладкостью стенок канавок в звуконосителе. Относительная величина этого шума при обычной, например шеллачной, массе получается слишком большой. Поэтому записи с микробороздками применяют или на лаковых дисках, или на винилитовых граммпластинках, имеющих малый уровень шума.

АППАРАТЫ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЗВУКОЗАПИСИ НА ДИСК

Различают аппараты для записи и аппараты для воспроизведения. Встречаются, впрочем, и универсальные конструкции, позволяющие осуществлять оба процесса; к их числу относится большинство любительских установок.



Фиг. 45. Планшайба.

Не касаясь аппаратов для акустической записи и воспроизведения, мы рассмотрим ниже только аппараты для электрической записи и воспроизведения.

Более сложным является аппарат для записи. Он состоит из станка, приводящего в движение звуконоситель, рекордера и усилительного тракта.

Начнем рассмотрение со станка. Первое, что он должен обеспечить, — это равномерное вращательное движение звуконосителя. Последний обычно кладется поверх стального или чугунного диска, называемого планшайбой. Между планшайбой и звуконосителем прокладывается резиновая прокладка. Для большей равномерности вращения планшайбу стараются делать массивной. При этом она сглаживает отдельные могущие возникнуть толчки, действуя как механический фильтр. Так как действие ее при этом пропорционально не весу, а моменту инерции относительно оси вращения, целесообразно основную массу планшайбы сосредоточить на краях. В средней части, которая в меньшей степени увеличивает момент инерции, обычно делают выточку, облегчая тем самым вес планшайбы (фиг. 45). До оси выточку не продолжают, чтобы не снизить точность и устойчивость посадки планшайбы.

Для привода во вращение планшайба должна быть соединена с двигателем. Чтобы определить тип последнего, — первое, что нужно знать, это величину требуемой мощности.

Она зависит, как мы видели, от способа образования звуковой канавки (резание или давление), а также от размера пластинки, которую предполагается записывать. Чем больше этот размер, тем больше тормозящий момент будет возникать при действии рекордера на звуконоситель и тем, следовательно, больше потребуется мощность двигателя. Практика любителей показывает, что для записи давлением на дисках диаметром до 15 *см* можно использовать даже пружинный двигатель от портативного граммофона. Однако, поскольку такой размер пластинки недостаточен, в качестве двигателя применяют чаще всего электрический. Надо также учесть, что система смещения рекордера обычно приводится в движение от того же двигателя. Это требует дополнительной затраты мощности его, особенно, если в системе смещения возникают заметные трения. В общем надо считать, что для станка любительского аппарата нужен двигатель мощностью 60—80 *вт*. Так как работа этого двигателя происходит в условиях переменной нагрузки (а на практике и при разных напряжениях сети) и в то же время требуется сохранение стабильного числа его оборотов, более желателен синхронный двигатель. В случае применения асинхронного двигателя мощность его следует выбирать с запасом, так как при этом стабильность хода повышается.

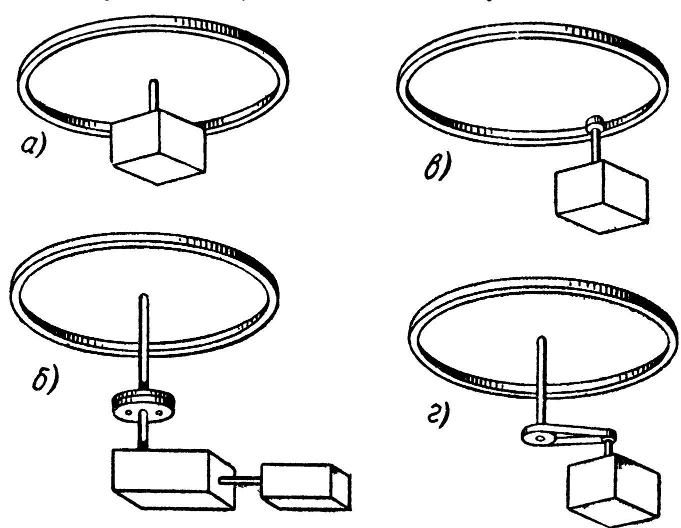
Передача вращения от двигателя к планшайбе может осуществляться разными способами, некоторые из них показаны на фиг. 46. Исходными данными при выборе являются два требования: обеспечить нужную скорость вращения планшайбы и получить возможно большее ее постоянство. Несоблюдение последнего, как уже упоминалось ранее, вызывает особые искажения типа плавания и расщепление звука и искажение тональности.

Схема фиг. 46, *а* применима лишь при наличии синхронного двигателя с нужным числом оборотов (при частоте сети 50 *гц* оно будет на 0,9 об/сек больше стандартного). Иногда в схему вводят гибкую муфту с передачей вращения через резиновую прокладку для ослабления вибраций, передаваемых от двигателя.

Когда число оборотов двигателя больше требуемого, применяется передача вращения с понижением числа оборотов. Первый способ — применение червячного редуктора (фиг. 46,*б*). Так как при этом неизбежны механические толчки, возникающие в момент зацепления зуба, включение гибкой муфты обязательно.

Вращение от скоростного двигателя можно также передать при помощи резинового ролика, соприкасающегося

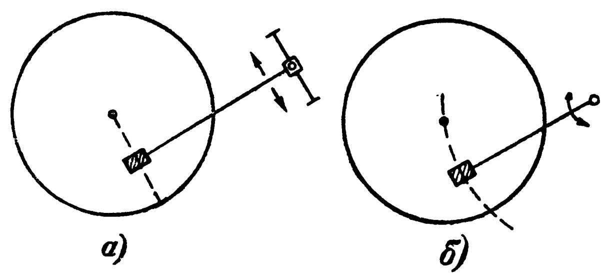
с внутренним ободом планшайбы (фиг. 46,*в*). Этот способ довольно прост. Однако он неприменим при больших вибрациях двигателя, так как эти вибрации передаются планшайбе и через нее звуконосителю. Следует следить, чтобы



Фиг. 46. Передача вращения от двигателя к планшайбе.

резиновый ролик плотно соприкасался с планшайбой и не пробуксовывал в какой-либо точке, так как это создаст колебания скорости.

Наконец, возможно применение ременной передачи (фиг. 46, *г*). Отличительной особенностью ее является отсутствие передачи вибрации от двигателя к планшайбе.



Фиг. 47. Смещение рекордера.

Обычно от того же двигателя, что и планшайба, приводится в движение механизм, смещающий рекордер. Смещение может производиться как по прямой (фиг. 47,*а*), так

и по дуге (фиг. 47,*б*). Последнее менее желательно и допускается лишь в простых аппаратах, поскольку движение рекордера по дуге вызывает искажения формы образуемой канавки вследствие неперпендикулярности плоскости движения резца к направлению движения звуконосителя.

Основное требование к смещающему механизму — обеспечить перемещение рекордера с каждым оборотом планшайбы на определенное расстояние, равное шагу записи. Последний выбирается или по стандартам на граммпластинку для записей, рассчитанных на акустическое воспроизведение, или берется меньше для случая электрического воспроизведения. В любительской практике принят шаг, равный 0,15 мм. Интерес представляет также экспериментирование с меньшим шагом.

Далее следует определить направления записи: к центру или от него. Преимущества того и другого случая были рассмотрены ранее. Таким образом, оказываются заданными форма, направление и скорость движения рекордера. После этого остается выбрать конструкцию передачи, связывающей движение рекордера с движением планшайбы, и произвести ее расчет.

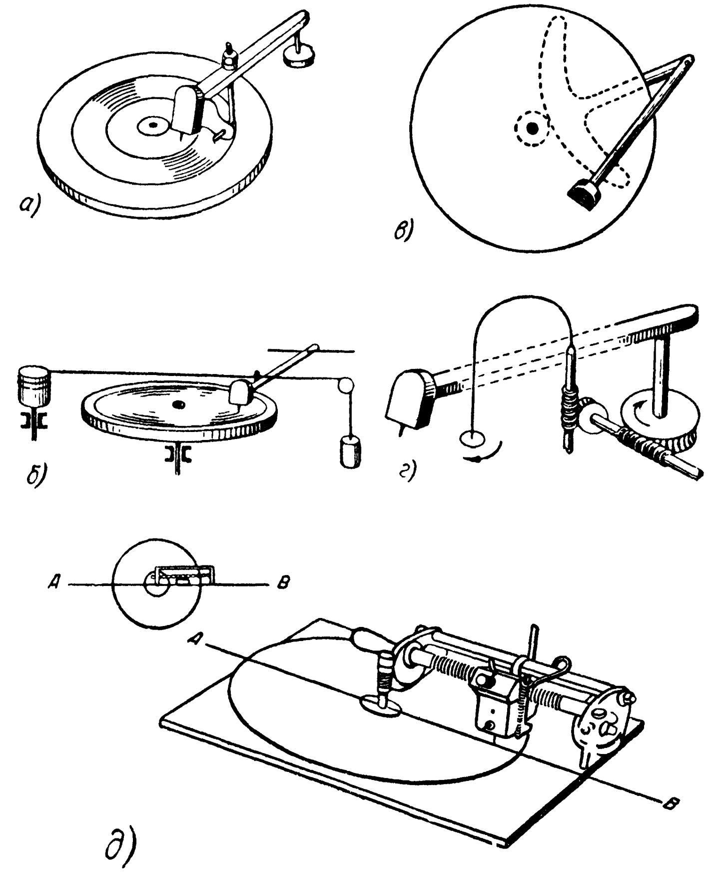
Существует много различных конструкций, смещающих механизмов. Некоторые из них показаны на фиг. 48. Остановимся на каждой из них подробнее.

Самый простой способ смещения — при помощи ведущей граммпластинки (фиг. 48,*а*). На планшайбу кладется обычная граммпластинка, сверху на нее небольшой диск для записи и все вместе прижимается во избежание проскальзывания к планшайбе с помощью центровой гайки. Рекордер короткой перемычкой жестко связан с поводком, представляющим собой простой иглодержатель. Во время вращения планшайбы игла поводка, двигаясь по канавке граммпластинки, смещается с каждым оборотом ее к центру на расстояние, равное шагу записи граммпластинки. Через поводок и перемычку это смещение передается рекордеру. Колебание иглы поводка при прохождении ею извилин канавки граммпластинки сглаживается благодаря большой массе рекордера и гибкости крепления его якоря и почти не передается резцу. В противном случае происходила бы перезапись ведущей граммпластинки. Иногда с целью еще большего ослабления этого эффекта иглу в поводке крепят через дополнительный резиновый демпфер.

Смещение лебедкой (фиг. 48,б). Барабан лебедки медленно вращается при помощи редуктора или ременной передачи от того же двигателя, что и планшайба. На барабан на-

матывается шелковая нить, скрепленная с рекордером. Для натяжения нити и устойчивости в работе с обратной стороны рекордер оттягивается противовесом при помощи второй нити, перекинутой через блок.

Смещение путем поворота держателя рекордера (фиг. 48,*в*). При помощи зубчатой передачи с большим за-



Фиг. 48. Конструкции смещающего механизма.

медлением рекордер поворачивается, описывая дугу, радиусом, равным длине своего держателя. Одно из звеньев передачи делается с выключающимся сцеплением для возврата рекордера в исходное положение.

Конструкция, показанная на фиг. 48,*г*, отличается от предыдущей тем, что вращение к держателю рекордера пере-

дается через наружный гибкий вал, связанный с центровой гайкой.

Смещение при помощи смещающего винта и полугайки (фиг. 48,*д*). Держатель рекордера свободно скользит вдоль неподвижной направляющей. К держателю прикреплена полугайка с резьбой, которая при опускании рекордера на звуконоситель входит в зацепление со смещающим винтом. Последний приводится во вращение через редуктор, расположенный внизу под платой аппарата или в центре планшайбы. Благодаря вращению смещающего винта и происходит смещение рекордера.

На этом принципе построены профессиональные станки для записи.

Наиболее хорошо действующей является конструкция смещающего механизма, показанная на фиг. 48,*д*. Удовлетворительные результаты дают и механизмы, показанные на остальных рисунках.

Выбор той или иной из них в любительских условиях чаще всего определяется наличием или возможностями изготовления требуемых деталей.

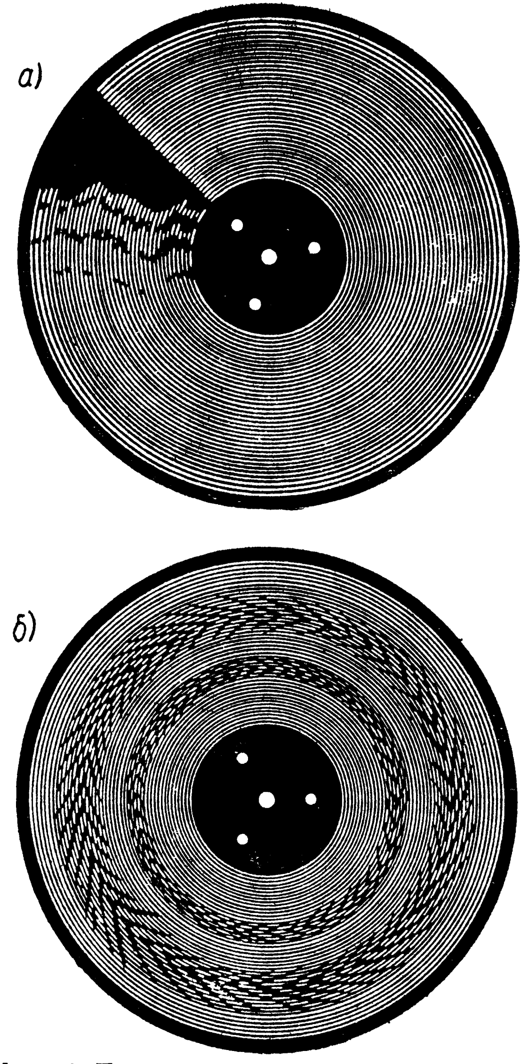
Расчет смещающего механизма несложен. Он сводится к определению параметров резьбы, числа зубьев и т. д. в узлах передачи вращения, обеспечивающих выбранный шаг записи.

Следует обратить внимание на необходимость точного изготовления деталей станка для записи вообще и смещающего механизма в особенности. Допущенные дефекты не замедлят сказаться при записи, делая ее иногда просто невозможной. Часто по внешнему виду записи можно установить наличие таких дефектов и даже выявить их причину. С этой целью производят запись холостой канавки при рекордере, отключенном от усилителя. На фиг. 49 приведен внешний вид наиболее характерных дефектных пластинок.

Неровная поверхность звуконосителя или прокладки между ним и планшайбой (фиг. 49,*а*). В результате рекордер в этом месте «подпрыгивает» и не нарезает канавку.

Действие на запись механических вибраций электродвигателя (фиг. 49,*б*, *в*). Следует найти, каким образом эти вибрации передаются к звукописцу или звуконосителю и устранить их. Подобный дефект является часто следствием перегруженности электродвигателя. Тогда его следует заменить более мощным.

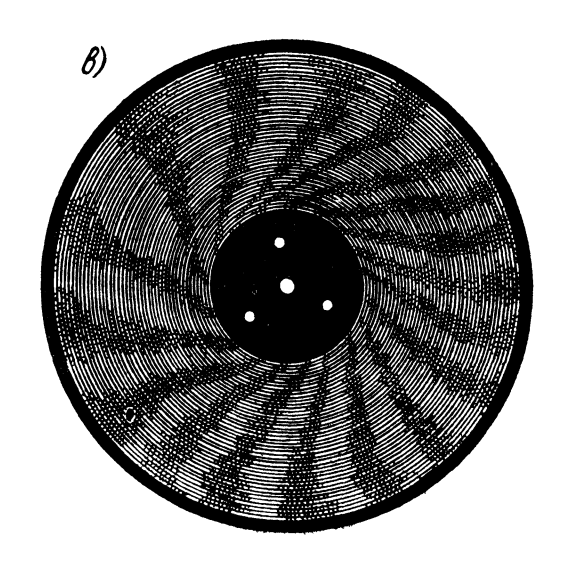
Плохая работа механизма смещения, отчего шаг записи изменяется (фиг. 49,*г*). Необходимо проверить все детали передачи движения (шестерни, винт смещения и т. д.),

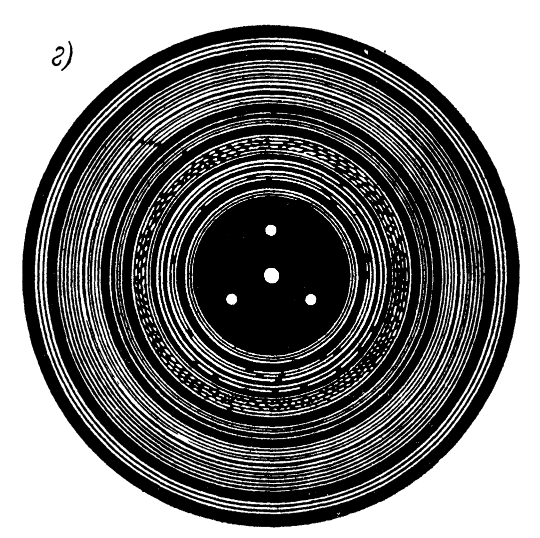


Фиг. 49. Примеры видимых дефектов пластинок.

устранить люфты и, наконец, применить противовес, подобно приведенному на фиг. 48,*б*.

Рассматривая запись через увеличительное стекло, можно иногда заметить непостоянство ширины (и глубины) холостой канавки. Это говорит о биении планшайбы в осевом направлении вследствие неточной посадки ее на ось или дефекта осевого подшипника.

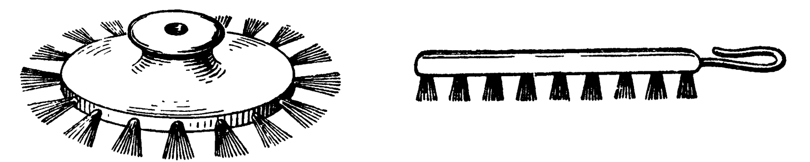




Фиг. 49. Примеры видимых дефектов пластинок.

Заканчивая рассмотрение устройства станка для записи, упомянем о вспомогательных деталях, входящих в его состав.

В центре планшайбы звуконоситель прижимается гайкой. Во избежание проскальзывания звуконосителя эту гайку делают с воможно более широким основанием. Чтобы на ходу гайка не отвинчивалась ее и соответственно верхний конец планшайбы нарезают левой резьбой. Иногда в край основания гайки вделывают щетину, которая зацепляет и оттягивает к себе стружку во время записи (фиг. 50). Для той же цели на аппарате можно устанавливать на кронштейне плоскую щеточку, подводимую к рекордеру.



Фиг. 50. Центровая гайка и щеточка для собирания стружек.

Для регулирования глубины погружения резца на держателе рекордера устанавливают передвигающийся груз. После подбора положение его фиксируется винтом.

Переходим к устройству станков для электрического звуковоспроизведения механических записей, сделанных на дисках. Сокращенно их называют электропроигрывателями. Основные детали такого станка — электродвигатель, планшайба и звукосниматель с держателем.

В отличие от станка для записи мощность электродвигателя в электропроигрывателе может быть взята значительно меньшей, порядка 20—30 *вт*.

Обычно это асинхронные двигатели с редуктором и центробежным регулятором или синхронные тихоходные двигатели с числом 78,9 об/мин. Получить в них стандартное число оборотов (78) нельзя, так как для этого по расчету требуется не целое число пар полюсов, что, разумеется, невозможно. Применяя быстроходные двигатели и редуктор, можно получить точное значение стандартной скорости. При регулировке число оборотов определяют или по секундомеру, или по стробоскопическому диску. Такой диск начерчен на обложке этой книги. Вырезав его ножницами и одев на вращающуюся планшайбу поверх пластинки, освещают неоновой лампой, включенной в ту же сеть переменного тока, что и электродвигатель. При этом звукосниматель должен быть опущен на пластинку, чтобы механически нагрузить двига-

тель. Регулировкой добиваются такой скорости, при которой средний ряд полосок стробоскопического диска кажется глазу неподвижным. Это состояние соответствует скорости вращения, близкой к 78 об/мин. Черные полоски на диске расположены в среднем ряду так, что при этой скорости время, требующееся для перемещения одной из них на место соседней, точно равно 0,01 сек. Это же время отделяет отдельные вспышки неоновой лампы друг от друга, при питании от сети переменного тока с частотой 50 *гц*. Благодаря этому лампа освещает при вспышках одну и ту же картину расположения черных полосок, отчего они и кажутся нам неподвижными.

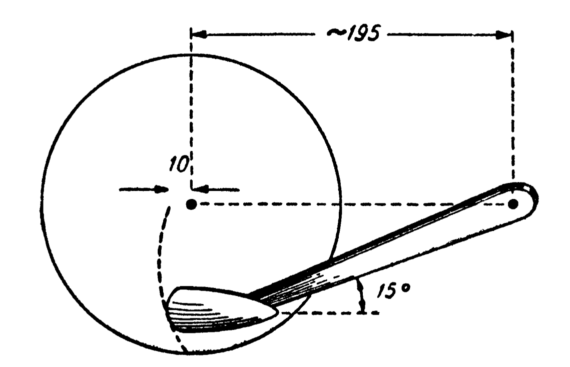
Планшайба электропроигрывателя может делаться легче, чем у станка для записи, так как при воспроизведении тормозящее усилие, действующее на планшайбу, меньше и, следовательно, условия ее работы как механического фильтра легче.

Чтобы избежать повреждения поверхности пластинок, сверху планшайбу оклеивают мягким сукном или фланелью. Надо следить за тем, чтобы верхняя плоскость планшайбы была горизонтальна и не била при вращении. Иначе все толчки передадутся звукоснимателю и дадут неприятный шум при воспроизведении.

Качество звучания в значительной мере зависит от правильной установки звукоснимателя. Последний крепится обычно на поворотном рычаге. Вследствие этого игла звукоснимателя движется всегда по некоторой дуге, в то время как резец звукописца — по прямой линии. Это несоответствие приводит к искажению звучания граммофонных пластинок. Наиболее очевидным решением было бы применение в электропроигрывателях такого же смещающего механизма, как и в станках для записи, который принудительно смещал звукосниматель в радиальном направлении. Однако это практически неприемлемо из-за своей сложности. Более простой способ — увеличение длины держателя — рычага. При этом дуга окружности, описываемой иглой, приближается по форме к отрезку прямой линии. Этот способ дает улучшение, но применение его ограничено размерами электропроигрывателя. Обычно длину держателя не делают больше 20—25 *см*. Расчеты и эксперимент показали, что даже при таких размерах можно добиться благоприятных результатов, применяя держатель изогнутой формы, устанавливаемый так, чтобы при его вращении игла выходила за ось планшайбы (фиг. 51). В этом случае искажения, о которых мы упоминали, становятся наименьшими. Практически

угол изгиба держателя близок к 15°, а величина выхода иглы за центр планшайбы равна примерно 10 *мм.* Более подробный расчет установки держателя приведен в уже упоминавшемся нами выпуске 86 массовой радиобиблиотеки «Граммофонные звукосниматели».

Большое значение имеет также правильная установка величины вертикального давления, оказываемого иглой на пластинку. Большое давление приводит, как известно, к чрезмерному износу записи. Поэтому его следует устанавливать таким, как этого только требует устойчивое положе-



Фиг. 51. Установка звукоснимателя в электропроигрывателе.

ние иглы в канавке. В заводских паспортах некоторых звукоснимателей указывается минимально необходимая величина веса, приведенного к концу иглы. При отсутствии каких-либо паспортных указаний выбор следует произвести практически, уменьшая этот вес до тех пор, пока не станет явно заметна неустойчивость иглы в канавке (в звучании появляется характерное хрипение). При этом возможен даже выброс иглы из канавки.

При работе с электромагнитными звукоснимателями в громкоговорителе часто прослушивается фон переменного тока, вызванный наводками на катушку звукоснимателя со стороны электродвигателя. Его легко обнаружить на слух, передвигая от руки звукосниматель над планшайбой. Для ослабления этого фона можно применить несколько следующих способов:

1. В пределах допустимого изменить положение электродвигателя, найдя то, при котором фон становится наименьшим.

2. Заэкранировать электродвигатель толстым листом из мягкой стали.

3. Последовательно с катушкой звукоснимателя включить другую катушку, примерно с тем же числом витков, расположенную снаружи корпуса звукоснимателя. При надлежащем подборе положения этой катушки фон, наводимый в ней, будет ослаблять фон, наводимый в звукоснимателе.

Следует отметить, что при пьезоэлектрических звукоснимателях опасности наводок со стороны электродвигателя нет, что является одним из их преимуществ.

Мы рассмотрели станки для записи и станки для воспроизведения. Универсальные станки строятся с учетом требований и записи и воспроизведения. Двигатель, планшайба и смещающий механизм делаются в них так же, как в специализированных станках для записи, держатель звукоснимателя, как в станках для воспроизведения. Очевидность этого не вызывает сомнений, и поэтому особо останавливаться на универсальных станках мы не будем.

Звукосниматели и рекордеры были уже рассмотрены ранее. Таким образом, из составных элементов аппаратов механической звукозаписи не рассмотрены только усилительные устройства.

Усилитель записи. В зависимости от целей записи предусматривается работа с микрофона, линии, радиоприемника или звукоснимателя (при перезаписи). Соответственно выбирается то или иное число каскадов усиления. В схеме усилителя (или в его выходной цепи) следует предусмотреть частотную коррекцию, необходимую для записи. Выходная мощность — порядка 5 *вт*. Выход усилителя согласовывается с сопротивлением рекордера.

Усилитель воспроизведения работает со звукоснимателя. Частотная характеристика усилителя воспроизведения зависит от характеристики примененного звукоснимателя. Так как последняя обычно отличается от требуемой, в усилителе должна быть продусмотрена возможность получать регулируемый подъем его частотной характеристики в области низких частот и резкий «завал» высоких, начиная с 6 000—8 000 *гц*. Остальные требования — обычные для усилителей. Выходная мощность и выход усилителя согласуются с применяемым громкоговорителем.

В любительских условиях целесообразно иметь один общий усилитель, используемый и для записи и для воспроизведения. При переходе с одного режима работы на другой в усилителе должна соответственно изменяться и форма частотной коррекции. На 2 стр. обложки приведена схема и данные подобного усилителя.

ЛИТЕРАТУРА

Е. И. Регирер, Граммофонная пластинка, Госхимиздат, 1940.

И. С. Рабинович, Любительская запись звука, Государственное издательство по вопросам радио, 1937.

В. Д. Охотников, В мире застывших звуков, Научно-популярная библиотека солдата и матроса, 1948.

В. В. Фурдуев, Электроакустика, гл. 9, Гостехиздат, 1948.

И. Е. Горон, Радиовещание, гл 8, Связьиздат, 1944.

Ю. Н. Прозоровский, Радиограммофон, Госэнергоиздат, Массовая радиобиблиотека, 1950.

Звукозапись (экспонаты 7 ВЗРВ), Госэнергоиздат, Массовая радиобиблиотека, 1949.

Аппаратура звукозаписи (экспонаты 6 ВЗРВ), Госэнергоиздат, Массовая радиобиблиотека, 1949.

Любительская звукозапись (экспонаты 8 ВЗРВ), Госэнергоиздат, Массовая радиобиблиотека, 1950.

А. К. Бектабегов и М. С. Жук, Граммофонные звукосниматели, Госэнергоиздат, Массовая радиобиблиотека, 1950.

Цена 2 р. 45 к.